



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

ESCUELA DE DOCTORADO DE LA UPLGC

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS CLÍNICAS

TESIS DOCTORAL

CANALIZACIÓN DE VÍAS CENTRALES GUIADAS POR ECOGRAFÍA EN PEDIATRÍA. DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN MODELO DE ENTRENAMIENTO

Olivia Pérez Quevedo

Las Palmas de Gran Canaria
2 de Noviembre de 2016



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
Departamento de Ciencias Clínicas

**D. JOSÉ MANUEL LÓPEZ ÁLVAREZ, DOCTOR EN
MEDICINA Y D. JUAN FRANCISCO LORO FERRER,
PROFESOR TITULAR DEL DEPARTAMENTO CIENCIAS
CLÍNICAS**

CERTIFICAN:

Que el trabajo de investigación titulado **“Canalización de vías centrales guiadas por ecografía en Pediatría. Diseño y aplicación de un modelo de entrenamiento”**, ha sido realizado por **Dña. Olivia Pérez Quevedo**, en el Departamento de Ciencias Clínicas de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, bajo su dirección y asesoramiento técnico y científico, y que una vez revisada la presente Memoria, la encuentran apta para su defensa ante tribunal.

Y para que así conste y surta los efectos oportunos, extienden el presente certificado en Las Palmas de Gran Canaria a 2 de **Noviembre** de 2016



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
ESCUELA DE DOCTORADO DE LA ULPGC
Departamento de Ciencias Clínicas

PROGRAMA DE DOCTORADO
INVESTIGACIÓN APLICADA A LAS CIENCIAS SANITARIAS

Título

**CANALIZACIÓN DE VÍAS CENTRALES GUIADAS POR
ECOGRAFÍA EN PEDIATRÍA. DISEÑO Y APLICACIÓN
DE UN MODELO DE ENTRENAMIENTO**

Memoria que para optar al grado de Doctor por la Universidad de Las
Palmas de Gran Canaria presenta el licenciado

Olivia Pérez Quevedo

Dirigida por el Dr. José Manuel López Álvarez y el Dr. Juan
Francisco Loro Ferrer

El Director

El Director

El Doctorando

Las Palmas de Gran Canaria, a 2 de Noviembre de 2016

"Curar a veces, aliviar a menudo, consolar siempre"

Bérard y Gubler

A mis Padres

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer, sinceramente y como lo más importante para mí durante el desarrollo de este trabajo, a mi director de tesis el **Dr. D. José Manuel López Álvarez**, por su esfuerzo y dedicación desde el primer instante hasta el último, siempre disponible sin queja alguna, animando y estimulando desde el lado positivo todos y cada uno de los días empeñados en esta tesis doctoral. Sus conocimientos, sus orientaciones, su manera de trabajar, su paciencia, su humor y su motivación han sido fundamentales para mí. José Manuel, amigo, has sido capaz de ganarte mi lealtad y admiración hacia ti y me siento en deuda contigo por todo lo recibido desde que te conocí. ¡GRACIAS!

Al **Profesor Dr. D. Juan Francisco Loro Ferrer** por la dirección de esta tesis doctoral, ha sido un privilegio poder contar con su guía y ayuda en la realización de este trabajo. Sus ánimos en cada encuentro me han servido de ayuda para no declinar el esfuerzo.

A la **Profesora Dña. Teresa Ramírez Lorenzo**, porque al cruzarse en nuestro camino se implicó de forma desinteresada abriéndonos las puertas ante los obstáculos para poder seguir trabajando.

Al **Profesor Dr. D. José María Limiñana Cañal**, por sus extraordinarios conocimientos y participación en la ejecución del análisis estadístico de este trabajo incluso después de la bien llegada y merecida jubilación.

A todo **el personal** que forma parte de la Unidad de Medicina Intensiva Pediátrica del Hospital Universitario Materno Infantil de Canarias, por sus constantes muestras de apoyo y ánimo y por las facilidades prestadas en el día a día para que pudiera realizar este trabajo.

A **los alumnos** del "Taller de punción vascular ecoguiada en Pediatría", por su participación y colaboración en esta tesis doctoral. La ilusión de cada uno de ellos hizo más fácil el camino.

A **D. Víctor Gutiérrez Duque** por su desinteresada asistencia técnica en cada uno de los talleres realizados. Sin su ayuda la realización de estos cursos no hubiera sido posible.

A **mi Familia**, por comprender, respetar y suplir las ausencias debidas a mi trabajo y a la dedicación de esta tesis.

A **mis Padres**, por dejarme recorrer todos los caminos que he querido emprender desde la libertad, respeto y cariño verdadero, animando y apoyando todas y cada una de mis decisiones. Es mucho lo que debo y nunca lo podré pagar. Me siento orgullosa de ellos.

A los **todos los niños** que han ingresado e ingresarán en las Unidades de Medicina Intensiva Pediátricas. Ojalá que nuestra dedicación hacia ellos sirva para devolverles la suerte de poder vivir.

Y para finalizar querría dejar un agradecimiento especial con todo mi cariño al **Dr. D. Rafael González Jorge**, "el Jefe", por confiar en mí y enseñarme a que "*no hay mejor momento para ser feliz que ahora mismo*".

ÍNDICE	Pg
1.-Introducción	3
1.1.- Canalización vascular	5
1.2.- Ecografía clínica	16
1.3.- Canalización vascular ecoguiada	22
1.4.- Formación y curva de aprendizaje en la técnica de punción vascular ecoguiada	29
1.5.- Tipos de modelo de entrenamiento para la canalización vascular ecoguiada	32
1.5.1.- Características de un modelo de entrenamiento ideal	33
1.5.2.- Ventajas y desventajas de los modelos de entrenamiento para la canalización vascular ecoguiada	34
2.- Objetivos	44
2.1.- Objetivo principal	45
2.2.- Objetivos secundarios	45
3.- Material y Métodos	46
3.1.- Tipo de estudio	47
3.2.- Diseño del estudio	47
3.2.1.-Localización y medida de vasos centrales en el paciente pediátrico	47
3.2.2.-Modelo experimental de entrenamiento en canalización vascular ecoguiada	48

3.3.- Procedimiento	49
3.3.1.- Punción en modelo de entrenamiento por operadores sin experiencia en canalización vascular ecoguiada	49
3.3.2.- Punción en modelo de entrenamiento por operadores con distinto grado de experiencia en canalización vascular ecoguiada	49
3.3.3.- Fidelidad del modelo de entrenamiento en canalización vascular ecoguiada	51
3.3.4.- Valoración de la curva de aprendizaje de la técnica de canalización vascular ecoguiada en el modelo de entrenamiento diseñado	51
3 4.- Definiciones	53
3.5.- Mediciones y fórmulas	58
3.6.- Análisis Estadístico	58
3.7.- Consideraciones éticas	59
3.7.1.- Conflicto de intereses	60
4.- Resultados	61
4.1.-Localización ecográfica de los vasos centrales pediátricos	62
4.1.1.- Medición de profundidad y diámetro de los vasos centrales pediátricos	62
4.1.2.- Estimación de la profundidad y diámetro vascular en el paciente pediátrico	67

4.1.2.1.-Variables asociadas con la profundidad vascular	67
4.1.2.2.-Variables asociadas al diámetro vascular	71
4.2.-Diseño de un modelo de entrenamiento para la canalización vascular ecoguiada	79
4.3.- Aplicación del modelo de entrenamiento en canalización vascular ecoguiada	96
4.3.1.- Resultados preliminares de un programa de formación en canalización vascular ecoguiada por operadores sin experiencia	96
4.3.2.-Análisis del modelo de entrenamiento en series de simulaciones programadas por operadores con distinto grado de experiencia en canalización vascular ecoguiada	102
4.3.2.1.- Visión de la aguja de punción	104
4.3.2.2.- Canalización reubicando guía	106
4.3.2.3.- Tiempo empleado y número de intentos para la canalización vascular ecoguiada	107
4.3.2.4.- Variables asociadas al éxito en la canalización vascular ecoguiada	108
4.4.- Curva de aprendizaje	112
4.4.1.-Comparaciones intergrupos en base a la experiencia en la técnica de canalización vascular ecoguiada	112

4.4.2.- Comparaciones intragrupo (operadores con experiencia en la técnica de canalización vascular ecoguiada)	117
4.4.3.- Comparaciones de resultados entre la serie inicial y la serie final de simulaciones	118
4.5.- Análisis de los fallos en la canalización vascular ecoguiada	119
4.5.1.- Modelo de asociación en el fracaso de la canalización vascular ecoguiada	119
4.5.2.- Distribución de los fracasos por operador	120
5.- Discusión	122
5.1.- Localización y medición de los vasos centrales pediátricos	123
5.2.- Modelos de entrenamiento en canalización vascular ecoguiada	132
5.3.- Curva de aprendizaje	154
6.- Conclusiones	158
7.- Bibliografía	162
8.- Anexos	184

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

UMIP	Unidad de Medicina Intensiva Pediátrica
CVE	Canalización vascular ecoguiada
ET-FP	Eje Transverso-Abordaje Fuera de Plano
EL-EP	Eje Longitudinal-Abordaje en Plano
EO-EP	Eje Oblicuo-Abordaje en Plano
TAC	Tomografía axial computerizada
VYI	Vena yugular interna
AF	Arteria femoral
VF	Vena femoral
Fr	French
cm	Centímetro
mm	Milímetro
G	Gauge
ml	Mililitro
P	Profundidad
P1	Profundidad I
P2	Profundidad II
P3	Profundidad III
D	Diámetro
D1	Diámetro I
D2	Diámetro II
D3	Diámetro III

CRG	Canalización reubicando guía
PV/MPG	Perforación vascular/mal posición de la guía
VA	Visión aguja
VCA	Visión completa aguja
VPA	Visión parcial aguja
NVA	No visión de la aguja
PPT	Punción próxima al transductor
PST	Punción separada del transductor
SC	Superficie corporal
kg	Kilogramo
s	Segundos
etc	Etcétera
DE	Desviación estándar
a	Años
m	Meses
vs	Versus
R-	Rango
R	Coefficiente de correlación lineal de Pearson
R²	Coefficiente de determinación
ns	No significativo
cs	Casi significativo

ÍNDICE DE FIGURAS	Pg
Figura 1: Dificultad en el acceso vascular venoso periférico y central en pacientes pediátricos	11
Figura 2: Múltiples punciones a nivel femoral izquierdo en lactante de 22 meses	12
Figura 3: Hematomas a nivel femoral tras intentos de canalización vascular en niño de 3 años	12
Figura 4: Dispositivo infrarrojo para facilitar la visión de las venas periféricas AccuVein® y Vein Viewer Flex®	15
Figura 5: Visión ecográfica de las estructuras vasculo-nerviosas de la región femoral y sus relaciones de proximidad	26
Figura 6: Punción vascular ecoguiada durante un taller de formación y entrenamiento	30
Figura 7: Modelo Blue Phamton®	35
Figura 8: Imagen ecográfica Vena yugular interna y Arteria carótida (Modelo Blue Phamton®)	35
Figura 9: Modelo de Silicona para simulación en punción vascular ecoguiada	36
Figura 10: Modelo de Gelatina: Drenajes tipo Penrose rellenos con distintos colorantes hidrosolubles, anclados en varias capas de Gelatina	36
Figura 11: Visión ecográfica de los ejes transversal (izda) y longitudinal (drcha) en el modelo de Gelatina	37

Figura 12: Componentes de distintos modelos de punción localización	41
Figura 13: Distribución de las series de punciones vasculares realizadas por dos operadores con distinto grado de experiencia en el modelo de entrenamiento diseñado	50
Figura 14: Medición de profundidad (P) y diámetro vascular (D) de AF y VF derechas (AFD y VFD) en una niña de 12 años de edad	63
Figura 15: Medición de profundidad (P) y diámetro (D) vascular de la VYI derecha (VYID) en niño de 23 meses de edad	64
Figura 16: Medición de diámetros (D) vasculares de la VYI derecha (VYID) en un niño de 4 años de edad	64
Figura 17: Profundidad (a) y diámetro (b) de los vasos centrales pediátricos (expresados en centímetros) según rangos de peso (expresados en kilogramos)	65
Figura 18: Profundidad (a) y Diámetro (b) de los vasos centrales pediátricos (expresados en centímetros) según rangos de talla (expresados en centímetros)	65
Figura 19: Profundidad (a) y Diámetro (b) de los vasos centrales pediátricos (expresados en centímetros) según rangos de edad (expresados en años)	66

Figura 20: Profundidad (a) y Diámetro (b) de los vasos centrales pediátricos (expresados en cm) según rangos de SC (expresados en m ²)	66
Figura 21: Correlación de la profundidad de la arteria femoral (PAF) en los pacientes pediátricos estudiados, en relación al peso de los mismos	68
Figura 22: Correlación de la profundidad de la vena femoral (PVF) en los pacientes pediátricos estudiados, en relación al peso de los mismos	69
Figura 23: Correlación de la profundidad de la vena yugular interna (PVYI) en los pacientes pediátricos estudiados, en relación al peso de los mismos	69
Figura 24: Correlación del diámetro de la arteria femoral (DAF) y la altura en los pacientes pediátricos estudiados	73
Figura 25: Correlación del diámetro de la vena femoral (DVF) y la altura en los pacientes pediátricos estudiados	74
Figura 26: Correlación del diámetro de la vena yugular interna (DVYI) y la altura en los pacientes pediátricos estudiados	75
Figura 27: Distribución porcentual de los vasos estudiados según los tres rangos de profundidad considerados	76
Figura 28: Distribución porcentual de los vasos estudiados según los tres rangos de diámetro considerados	76

Figura 29: Distribución global de los tres vasos estudiados según los rangos de profundidad y diámetro vascular considerados	77
Figura 30: Visión ecográfica en el modelo de Gelatina-Mucílago de dos estructuras vasculares en el eje transverso	79
Figura 31: Visión ecográfica de la aguja de punción en el eje longitudinal en plano (EL-EP) en el modelo de Gelatina-Mucílago	80
Figura 32: Medidas del componente muscular del modelo de entrenamiento	81
Figura 33: Llenado de la estructura vascular con colorante hidrosoluble, mediante jeringa (izda) o mediante dosificador (drcha)	82
Figura 34: Estructura vascular inicial de 27 cm (izda) dividida en dos porciones de aproximadamente 12 cm de longitud cada una (drcha)	83
Figura 35: Componentes del modelo de entrenamiento para la CVE	83
Figura 36: Izda: Trocar de punción atravesando longitudinalmente la porción muscular del modelo; Drcha: Sutura del drenaje al extremo de la estructura vascular distal al nudo realizado (detalle ángulo superior)	84

Figura 37: Ubicación en el interior de la estructura muscular de la estructura vascular, tras traccionar del drenaje suturado a ella	85
Figura 38: Diámetros vasculares (D1-D3) según el grado de estiramiento de la estructura elástica con los clamps (flechas) y su representación ecográfica	86
Figura 39: Profundidades vasculares (P1-P3) según el nivel de profundidad a la que se introduce la estructura vascular desde la superficie de la estructura muscular	87
Figura 40: Drcha: Visión " <i>in vivo</i> " de la región femoral de un lactante de 5 meses; Izda: Visión de la estructura muscular en el modelo diseñado	88
Figura 41: Imagen en el modelo diseñado, respecto a la imagen real " <i>in vivo</i> "	89
Figura 42: Estructuras vasculares unidas mediante un nudo, permitiendo así, la utilización del modelo para múltiples punciones	89
Figura 43: Distancia de separación de los soportes de fijación y clamps de la estructura vascular para conseguir los rangos de diámetro vascular analizados	90
Figura 44: Correlación del diámetro de la estructura vascular y el estiramiento de la misma	93
Figura 45: Visión de la estructura muscular y vascular en los Ejes ecográficos estudiados, en el modelo diseñado	94

Figura 46: Visualización de la aguja de punción en los tres ejes estudiados en el modelo de entrenamiento en CVE	95
Figura 47: Visión de la aguja durante realización de la CVE	97
Figura 48: Distribución porcentual de la tasa de éxito en la CVE en los tres rangos de diámetro estudiados	99
Figura 49: Valoración porcentual del modelo de entrenamiento en CVE por parte de los alumnos participantes en los talleres de formación	101
Figura 50: Talleres de formación realizados en operadores sin experiencia en CVE	101
Figura 51: Distribución de frecuencias de la visualización de la aguja durante la CVE	103
Figura 52: Distribución porcentual de la visualización de la aguja en relación al eje ecográfico y abordaje utilizado	105
Figura 53: Tasa de éxito asociada a los distintos rangos de profundidad (P) y diámetro (D)	108
Figura 54: Tasa de éxito en la CVE en los distintos ejes ecográficos utilizados para la punción vascular ecoguiada	109
Figura 55: Distribución porcentual de las variables analizadas en los 3 grupos de estudio en base a la experiencia (GI, GII, GIII) en la técnica de CVE	114

- Figura 56:** Comparativa del tiempo empleado y número de intentos realizados durante el procedimiento entre el grupo de operadores sin experiencia (GI) y con experiencia (GII-III) en relación a la profundidad vascular 115
- Figura 57:** Comparativa del tiempo empleado y número de intentos realizados durante el procedimiento entre el grupo de operadores sin experiencia (GI) y con experiencia (GII-III) en relación al diámetro vascular 116
- Figura 58:** Distribución mayoritaria de los fracasos en la técnica de CVE en los operadores con experiencia, en base a rango de profundidad (P), rango de diámetro (D) y eje de canalización 119
- Figura 59:** Distribución porcentual de los fracasos en la técnica de CVE por rangos de Profundidad (P), rangos de Diámetro (D) y eje de canalización en los operadores con experiencia (GII y GIII) 120
- Figura 60:** Distribución más frecuente de los fracasos en la técnica de CVE, según operador en base a rango de profundidad (P), rango de diámetro (D) y eje de canalización 121

ÍNDICE DE TABLAS	Pg
Tabla 1: DIVA Score	13
Tabla 2: Ventajas e inconvenientes de los tres principales ejes ecográficos con sus abordajes para la canalización vascular ecoguiada	24
Tabla 3: Modelos de entrenamiento de punción vascular ecoguiada: “pros y contras”	39
Tabla 4: Características de la población pediátrica estudiada	62
Tabla 5: Medidas de profundidad (P) de los vasos centrales pediátricos (expresadas en centímetros)	63
Tabla 6: Medidas de diámetro (D) de los vasos centrales pediátricos (expresadas en centímetros)	63
Tabla 7: Correlación de las variables demográficas y antropométricas con la profundidad vascular en la población pediátrica estudiada	67
Tabla 8: Modelo predictor de la profundidad de la arteria femoral (PAF) en la población pediátrica estudiada	70
Tabla 9: Modelo predictor de la profundidad de la vena femoral (PVF) en la población pediátrica estudiada	70
Tabla 10: Modelo predictor de la profundidad de la vena yugular interna (PVYI) en la población pediátrica estudiada	71

Tabla 11: Correlación de las variables demográficas y antropométricas con el diámetro vascular en la población pediátrica estudiada	72
Tabla 12: Modelo predictor del diámetro vascular de la arteria femoral (DAF) en la población pediátrica estudiada	72
Tabla 13: Modelo predictor del diámetro vascular de la vena femoral (DVF) en la población pediátrica estudiada	73
Tabla 14: Modelo predictor del diámetro vascular de la vena yugular interna (VYI) en la población pediátrica estudiada	74
Tabla 15: Localización y medición ecográfica expresada en cm, de otros vasos venosos de relevancia en el paciente pediátrico (P: Profundidad; D: Diámetro)	77
Tabla 16: Localización y medición ecográfica expresada en cm, de otros vasos arteriales de relevancia en el paciente pediátrico (P: Profundidad; D: Diámetro)	78
Tabla 17: Medida de la estructura tubular y grado de estiramiento necesario para conseguir los tres rangos de diámetro utilizados en el modelo (celdas sombreadas)	91
Tabla 18: Modelo predictor del diámetro de la estructura vascular en relación al estiramiento de la misma	92
Tabla 19: Modelo predictor del diámetro de la estructura vascular en relación a la longitud de la misma	92

Tabla 20: Descriptiva de las principales variables del modelo de CVE en operadores sin experiencia en la técnica	96
Tabla 21: Variables asociadas al éxito en la CVE	99
Tabla 22: Distribución porcentual del número de intentos realizados para la CVE exitosa en el modelo de entrenamiento	100
Tabla 23: Descriptiva de las principales variables del modelo de CVE en operadores con experiencia en la técnica	102
Tabla 24: Distribución porcentual de la VAC en relación a los rangos de profundidad (P) y diámetro (D) y ejes ecográficos-abordaje analizados	104
Tabla 25: Comparación de la visión completa de la aguja con distintas variables analizadas	105
Tabla 26: Distribución porcentual de la tasa de CRG asociada a los distintos rangos de profundidad (P), diámetro (D) y ejes ecográficos-abordaje analizados	106
Tabla 27: Asociaciones significativas de la necesidad de reubicar guía (CRG) en relación a variables analizadas	107
Tabla 28: Tiempo empleado y número de intentos necesarios para la CVE en base a los rangos de profundidad (P) y diámetro (D) y ejes ecográficos-abordaje	107
Tabla 29: Comparación de las distintas variables analizadas en relación al éxito en la CVE	110

Tabla 30: Número de intentos realizados por los operadores con experiencia (GII y GIII) en la técnica ecoguiada, para la CVE exitosa	111
Tabla 31: Comparativa de la principales variables estudiadas entre el grupo de operadores sin experiencia (GI) y con experiencia (GII-III) en la técnica de CVE	113
Tabla 32: Comparativa del número de intentos y tiempo empleado en la CVE exitosa entre el grupo de operadores sin (GI) y con (GII-III) experiencia en la técnica	113
Tabla 33: Comparativa de la principales variables estudiadas en relación a las dos series de simulaciones realizadas en el tiempo por operadores con experiencia en CVE (GII y GIII)	118

RESUMEN

La canalización de una vía venosa central es un procedimiento inherente a la práctica médica de los pacientes críticos.

Tradicionalmente se utiliza la técnica de canalización vascular basada en referencias anatómicas, también llamada "técnica clásica a ciegas". Esto presenta mayor dificultad en los pacientes pediátricos y no está exenta de riesgos y complicaciones, debido sobre todo al tamaño de los vasos de los niños. En los últimos años se ha incorporado el uso de la ecografía para facilitar la canalización vascular. Al igual que ocurre con la aplicación de cualquier técnica en la práctica médica diaria, la canalización vascular ecoguiada en el paciente pediátrico, precisa de una curva de aprendizaje para adquirir las destrezas necesarias a dicha técnica. La evidencia demuestra que el uso de modelos de simulación que sirvan como entrenamiento para procedimientos diagnósticos o terapéuticos mejora, entre otras cosas, la calidad asistencial de los pacientes. En este trabajo diseñamos un modelo de simulación, partiendo de datos de mediciones de los vasos de los niños, que asemeje al paciente pediátrico y que sirva para la realización de la técnica de canalización vascular ecoguiada. Se analizarán los aspectos más controvertidos de la técnica en el modelo diseñado y se describirá la curva de aprendizaje en dicha técnica según distintos operadores.

INTRODUCCIÓN

1.- INTRODUCCIÓN

La canalización de vías venosas centrales en el paciente crítico pediátrico según referencia anatómica, "técnica clásica a ciegas", es una técnica habitual en las Unidades de Cuidados Intensivos pediátricos (UMIP). La principal dificultad de esta técnica radica en la localización del vaso a puncionar, sus variantes anatómicas, el pequeño diámetro de los vasos de los niños de menor edad, así como del material técnico disponible. Debido a ello, esta técnica no está exenta de riesgos y complicaciones entre las que podemos citar: sangrado externo, hematomas, punciones accidentales de otras estructuras próximas o la realización de múltiples pinchazos para la canalización del vaso. Estos riesgos se verían incrementados en distintas situaciones clínicas como puede ser la coagulopatía, plaquetopenia, o el shock.

La ecografía vascular se utiliza ya en el paciente adulto para la canalización vascular ecoguiada (CVE) facilitando la misma. En los pacientes pediátricos, presenta una instauración progresiva.

Existen fundamentalmente dos planos de abordaje del vaso de forma ecoguiada: a) Eje transverso-Fuera de plano (ET-FP); b) Eje longitudinal -En plano (EL-EP) y un tercero más novedoso que nace de la fusión de ambos denominado eje oblicuo - En plano (EO-EP).

Los estudios sobre localización y medición vascular en el paciente pediátrico son limitados, a pesar de la importancia de su

conocimiento para facilitar la canalización vascular. Con la instauración de la ecografía vascular, se puede hacer un diagnóstico preciso y rápido de la ubicación de los vasos a canalizar y sus ventajas e inconvenientes.

Los programas de formación en CVE tienen como objetivo la adquisición de las nociones básicas sobre ecografía vascular y su aplicación práctica. Ésta generalmente se realiza en modelos de simulación.

No existe una opinión unánime en cuanto a la duración de la formación y modelo ideal de entrenamiento. Éste debería tener la mayor semejanza posible con el paciente y reproducir de la forma más fidedigna la técnica de canalización vascular.

En base al entrenamiento en los modelos de simulación se adquirirá una destreza técnica que mejorará la curva de aprendizaje que toda técnica presenta durante su implantación.

Así mismo la técnica ecoguiada en el paciente pediátrico:

- Tiene unas limitaciones para su utilización debido fundamentalmente a la profundidad máxima del vaso a puncionar y al diámetro mínimo del mismo.
- Presenta una curva de aprendizaje mayor que en los pacientes adultos.
- Precisa de un entrenamiento para acortar en la medida de lo posible la curva de aprendizaje de la técnica.

No existe consenso, ni series comparativas sobre:

- El plano óptimo ideal para la canalización de una vía central por técnica ecoguiada, sus ventajas e inconvenientes.
- Las maniobras que faciliten la canalización vascular.
- La zona de inserción de la aguja respecto al transductor ecográfico.

1.1.- CANALIZACIÓN VASCULAR

La canalización de una vía venosa es una técnica inherente a la práctica médica. A través de ella, se administra el tratamiento intravenoso que el paciente precisa y también se pueden extraer las determinaciones analíticas necesarias. En el paciente crítico, la necesidad de canalización vascular, por tanto, es prioritaria.

La administración de tratamientos intravenosos con alta osmolaridad, bajo pH o lesivos para la pared vascular (antibióticos de amplio espectro, inotrópicos, vasopresores, quimioterápicos, nutrición parenteral, etc) precisan que las venas a canalizar sean centrales, es decir más resistentes, de mayor calibre y conectadas al sistema de retorno venoso torácico que llega al corazón. Estas venas facilitarán la ubicación de catéteres de mayor diámetro, longitud y con un mayor tiempo de permanencia en el interior del vaso. Además de las indicaciones anteriormente expuestas, estos catéteres permitirán:

- La monitorización hemodinámica en el caso de las venas centrales a través del registro de la presión venosa central, presión de la arteria pulmonar, saturación venosa mixta de

oxígeno, gasto cardiaco, etc, o si el vaso canalizado es una arteria la medición de la presión arterial.

- La monitorización respiratoria a través de la determinación del intercambio gaseoso mediante la extracción de los gases sanguíneos.
- La monitorización metabólica mediante determinaciones iónicas del medio interno.
- El soporte hemodinámico permitiendo la administración de fármacos inotrópicos o vasopresores o la ubicación en su interior de un balón de contrapulsación aórtico en situaciones clínicas de shock o parada cardiorrespiratoria.
- La administración de hemoderivados en pacientes con coagulopatía, plaquetopenia o anemia grave.
- El soporte renal mediante la utilización de un catéter intravascular para la realización de técnicas de depuración extrarenal (hemodiálisis, hemofiltración).

Describiendo sintéticamente los hechos más relevantes en la historia de la canalización venosa central podemos citar a los siguientes autores y sus aportaciones:

- En 1912 Bleichröder, Unger y Loeb (1) publican los primeros cateterismos venosos centrales en el hombre, introduciendo un catéter uretral por las venas del brazo hasta la vena axilar.

- En 1952 Aubaniac (2), describe la técnica de acceso percutáneo a la vena cava superior por vía subclavia mediante la punción infraclavicular.
- En el año siguiente 1953, Seldinger (3) introduce la técnica basada en el uso combinado de la aguja, guía y catéter para el abordaje arterial y venoso central, que mantenemos hasta la actualidad.

A partir de las aportaciones de Seldinger, distintos autores han realizado sus modificaciones de la técnica y han descrito distintas vías de abordaje y localizaciones de los vasos centrales. Por ejemplo, Farinas (4), en 1941, utiliza la arteria femoral para la cateterización cardiaca, Kilichan en 1955 canaliza la vena subclavia por vía supraclavicular, Hermosura et al (5), en 1966 describen la técnica para el abordaje de la vía yugular interna, Hoshal (6) en 1975 utiliza el primer catéter central de inserción periférica. Otros autores han introducido materiales diversos para optimizar la compatibilidad del catéter central con la pared vascular. Fletcher (7) en 1956 utiliza la silicona como material de fabricación de los catéteres centrales y en 1960 se introduce el silastic-teflon (8) como material recomendado para el catéter central. Además, se han ampliado las indicaciones de la cateterización vascular central con aportaciones como las de Swan Ganz 1970 (9), Shaldon 1961 (10), Broviac 1973 (11), Fogarty 1963 (12) y Hickman 1979 (13).

Con el desarrollo de la técnica de canalización vascular central y el aumento progresivo de canalizaciones se comienzan a describir las complicaciones asociadas a ella. Éstas, debido a la importancia del vaso a canalizar, generalmente se asocian a un aumento en la morbi-mortalidad del paciente crítico. Las principales complicaciones descritas son (14) :

- La punción de una estructura no deseada, generalmente vasos arteriales (con el consiguiente riesgo de hemorragia, hemotórax o hematoma subcutáneo), lesión pleural (asociando secundariamente un neumotórax), lesión de plexos nerviosos con riesgo de parálisis-paresias asociadas.
- La perforación vascular o miocárdica con la guía de canalización que origina un hematoma subcutáneo o un hemopericardio y la posibilidad de un taponamiento cardiaco asociado.
- La migración al torrente vascular de la guía de canalización y riesgo de embolización.
- La entrada de aire a la circulación y riesgo de embolismo aéreo pulmonar o cerebral.
- La posición inadecuada del catéter central ubicándose éste en:
 - El tejido celular subcutáneo, con el riesgo de extravasación de la medicación administrada, produciendo quemaduras, por la alta osmolaridad de la misma o por su carácter vesicante, edemas y sobreinfecciones de la zona.
 - La pleura, con el riesgo de derrame pleural iatrogénico.

- Infecciones asociadas a todo dispositivo artificial ubicado en la luz vascular.

Estas complicaciones, así como el fracaso en la canalización vascular se incrementan en situación de shock, deshidratación, edematización, coagulopatía etc, asociadas generalmente al paciente crítico.

En los niños, las indicaciones de la canalización vascular son las mismas que las descritas anteriormente en el paciente adulto, sin embargo la dificultad técnica y las complicaciones son mucho mayores derivadas entre otras razones a:

- Mayor dificultad para la localización vascular por técnicas clásicas basadas en referencias anatómicas.
- Menor diámetro vascular, que dificulta la palpación y visualización vascular.
- La mayor fragilidad capilar que favorece la rotura venosa más frecuentemente a nivel periférico.
- Mayor riesgo de punción-lesión de estructuras no deseadas (vasos arteriales, pleura, plexos nerviosos).
- Variaciones anatómicas de los vasos, más frecuentes en las primeras edades de la vida.
- Situaciones clínicas que precisen múltiples accesos vasculares y de larga duración (grandes prematuros, pacientes pediátricos crónicos, ingreso prolongado en Cuidados Intensivos).

- Menor colaboración de los pacientes, debido a la dificultad para la comunicación con ellos, su comprensión del procedimiento y el miedo y la ansiedad que éste provoca.

De lo anteriormente expuesto, se puede deducir que en ocasiones el conseguir un acceso venoso en pediatría puede ser un reto tanto para el personal médico como para el de enfermería. Esto fue bien descrito en 1984 por Orłowski (15) quien acuñó la frase : **"My kingdom for an intravenous line"**.

En múltiples ocasiones, es necesario realizar varias punciones haciendo que el procedimiento sea complejo, que se aumente el dolor y la ansiedad de los niños al someterse a la canalización vascular y alterar la percepción de los padres en cuanto a la calidad de la atención al niño enfermo. La necesidad de múltiples intentos para la canalización de una vía intravenosa puede llegar a ser frustrante para el personal sanitario. Incluso en canalizaciones realizadas por personal con experiencia, el acceso intravenoso puede ser difícil de obtener en niños, encontrando una tasa de fracaso que oscila según las series entre el 10-25% (16,17).

Se considera acceso venoso difícil aquel en el que se requieren más de tres punciones para lograr una canalización exitosa o aquel procedimiento que se prolonga por más de 30 min (18).

El acceso venoso difícil se puede asociar a inicio tardío del tratamiento, incremento en el número de complicaciones como

infiltración de tejidos blandos, extravasación de medicamentos, perforación vascular e infecciones, aumento de la morbimortalidad y mayor estancia hospitalaria.

Se han publicado algunos criterios (19) que nos permiten anticipar los accesos venosos difíciles como pueden ser:

- Referencias anatómicas difíciles de identificar debido a edad del paciente, obesidad o edemas (Figura 1).



Figura 1. Dificultad en el acceso vascular venoso periférico y central en pacientes pediátricos

- Lugares de acceso limitados por la presencia de otros catéteres, infecciones, zonas de quemaduras.
- Dificultades previas, como pueden ser más de tres intentos de canalización en un lugar o más de dos lugares intentados (Figura 2).



Figura 2: Múltiples punciones a nivel femoral izquierdo en lactante de 22 meses

- Complicaciones previas: punción arterial, hematomas (Figura 3), neumotórax, lesiones neurológicas.



Figura 3: Hematomas a nivel femoral tras intentos de canalización vascular en niño de 3 años

- Anormalidades vasculares conocidas.
- Coagulopatía (definida por el alargamiento de los tiempos de coagulación entre 1,5-2 el control) y/o plaquetopenia (recuento plaquetario $<50.000/\text{mm}$).

- Incapacidad del paciente para tolerar la posición en supino.

Estos criterios son útiles para identificar a aquellos niños y adolescentes que puedan tener un acceso venoso difícil y se incluyen en escalas como el "DIVA score" (*difficult intravenous access score*) (17,20) presentado en la Tabla 1.

VARIABLES	SCORE					
Visibilidad Vena tras torniquete	Si	0			No	2
Palpación Vena tras torniquete	Si	0			No	2
Edad	\geq 3 años	0	1-3 años	1	<1 año	3
Antecedentes de prematuridad	No	0			Si	3

Tabla 1. DIVA Score

La puntuación de esta escala va desde un valor 0 a 10 de menor a mayor dificultad en la canalización vascular (20). Cuando se obtiene una puntuación de DIVA score de 4 ó más, existe, hasta un 50% de posibilidades, de fallar en el primer intento de canalización de una vía y si ésta es mayor o igual a 8 la probabilidad de canalizar en un primer intento es mínima, por lo que puede ser necesario: a) el uso de otras técnicas que ayuden en la canalización vascular; b) intentar un acceso intraóseo en casos de maniobras de reanimación

durante una parada cardiorrespiratoria en la que no se consigue la canalización de una vía.

A pesar de las dificultades para la canalización anteriormente expuestas, el sistema vascular venoso periférico es la primera opción en el abordaje vascular. Existen diversas técnicas y maniobras para facilitar y optimizar la punción venosa. Entre ellas podemos citar:

- El calentamiento local, que origina una vasodilatación de las arteriolas y vénulas sobre todo en los pacientes más pequeños.
- La técnica de trans-iluminación con el uso de dispositivos como el otoscopio u otros específicos, como los mostrados en la Figura 4, con luz LED (AccuVein[®], Vein Viewer Flex[®]) (21), generada por un haz de luz infrarroja (longitud de onda entre 0.75 y 1.4 μm) reflejado sólo por las zonas de tejido en las que no hay venas. Una cámara digital capta en el reflejo una "sombra" justamente en el trayecto por el que discurren los vasos con un error máximo de 0,06 mm. Como la luz infrarroja tiene un bajo poder de penetración, generalmente todas las estructuras que se ven son las venas, porque las arterias tienen en su mayoría un recorrido más profundo. Suelen ser dispositivos caros, solo útiles en vasos muy superficiales, no disponibles en la mayoría de los centros sanitarios y con escasa utilidad para la canalización de vasos centrales.



Figura 4: Dispositivo infrarrojo para facilitar la visión de las venas periféricas AccuVein® (arriba) y Vein Viewer Flex® (abajo).

- La aplicación de nitroglicerina tópica asociada a un anestésico tópico local para producir vasodilatación de la vena. Sin embargo su efecto no es inmediato y el paso al torrente sanguíneo debido a su buena absorción tópica hace que no se aconseje para pacientes neonatales ni menores de 1 año.
- La colocación de un compresor por encima del vaso elegido para así favorecer el llenado de la vena y el aumento de su diámetro (22).

Existen situaciones clínicas en las que no basta un acceso venoso periférico y es precisa la obtención de un acceso venoso central.

Tradicionalmente se ha utilizado la técnica de punción basada en referencias anatómicas, también llamada “técnica clásica a ciegas”, sin embargo, en los pacientes pediátricos, las referencias anatómicas son más variables, sobre todo en los pacientes de menor edad y asocian mayor número de complicaciones. Entre ellas se

incluyen lesiones a estructuras cercanas que pueden producir hematomas, punciones arteriales, neumotórax, hemotórax, trombosis, retraso en el tratamiento por fracaso o dificultad en la canalización (23). Además, al ser más difícil la canalización vascular en pacientes pediátricos el intento de más de un sitio de punción puede derivar en mayor tiempo de canalización y mayor incidencia de complicaciones aumentando así la morbi-mortalidad asociada a cualquier técnica utilizada en pacientes graves.

La tasa de fallos en la canalización vascular a ciegas en el niño varía según las series desde un 5% a un 19% y las tasas de complicaciones desde un 2,5% a un 22% (24). Así, en la canalización de la vena femoral en niños se ha registrado una tasa de complicaciones del 3,1% que asciende hasta el 34% si se trata de la canalización de la vena subclavia (25). La mayoría de las complicaciones son asociadas a múltiples intentos de la punción de la aguja en el vaso para conseguir la canalización (26). Se describe así mismo que el riesgo de complicaciones se incrementa significativamente después de dos punciones en el mismo vaso (27) y este incremento es seis veces mayor a partir de tres intentos (28).

1.2.-ECOGRAFÍA CLÍNICA

En los últimos años se ha incorporado a los servicios de Anestesia, Cirugía, Medicina Intensiva, Urgencias y Emergencias el uso de la ecografía para la canalización vascular.

La ecografía se fundamenta en el fenómeno acústico del eco producido al chocar un sonido sobre una superficie o interfase capaz de reflejarlo.

La técnica de la ecografía se basa en la emisión y recepción de ondas sonoras de frecuencias altas o ultrasonidos (20-30 MegaHercios), muy superiores a las audibles por el oído humano (15-20,000 Hercios). Los ultrasonidos son emitidos por un transductor que contiene cristales piezoeléctricos cuya vibración transforma la energía eléctrica en ultrasonidos. Este mismo transductor actúa como emisor y receptor de ultrasonidos transformando la energía eléctrica en sonido y la sonora en eléctrica.

Dependiendo de la densidad del tejido que atraviesa el haz de ultrasonidos, este se transmite a una determinada velocidad generando unos patrones ecográficos que van desde el Hiperecoico por una alta reflexión (huesos y materiales cálcicos) al Anecoico por ausencia de reflexión (sistema vascular).

Los ultrasonidos empezaron a usarse para aplicaciones clínicas en los EEUU en 1950. Sin embargo no fue hasta el año 1960 cuando se comercializaron los equipos para la aplicación de esta técnica. En la década de los 70 la ecografía empezó a ser usada por otros departamentos y especialidades diferentes a la Radiología, tales como la Cardiología y la Obstetricia. A mitad de los 80, con la llegada de dispositivos ecográficos más baratos, más pequeños y más transportables, el uso de los aparatos de ecografía irrumpió en los

servicios de Urgencias, Anestesia y Cuidados Intensivos. Desde entonces la ecografía ha comenzado a ser utilizada en estos servicios como una herramienta más en el cuidado y manejo de los pacientes y cada vez son más las posibilidades de aplicación como nueva herramienta de trabajo y mejora en la atención de los pacientes. De hecho, el entrenamiento en la ecografía está siendo parte del curriculum de la mayoría de los médicos residentes de estas especialidades (29).

Sin embargo, a pesar del creciente aumento del uso de los ultrasonidos en muchos campos de la práctica clínica diaria, la utilidad de la ecografía en la atención de los pacientes pediátricos en los Servicios de Emergencias sigue estando en gran medida sin investigar. Pocos médicos del servicio de urgencias pediátricas tienen acceso al entrenamiento con la ecografía.

Considerando la ecografía como una herramienta muy útil que sirve para la práctica clínica diaria, es importante, la mejora en la calidad y aprendizaje de los médicos de distintas especialidades que se pueden beneficiar de ella, sin tratar de sustituir nunca a los especialistas en Radiología. Así como la medicina de Urgencias ha incorporado técnicas propias de otras especialidades como puede ser el uso de la medicación anestésica para la sedación de los pacientes o el uso del fibroscopio para el manejo de la vía aérea, la ecografía "a pie de cama" realizada por especialistas en Cuidados Intensivos no debería entrar a conflicto sobre quién debería realmente realizar

estos procedimientos y cuáles son las credenciales necesarias para poderlos realizar, ya que el aprendizaje de una técnica es el resultado de la especialización y distintas especialidades médicas pueden compartir las áreas de conocimiento ó técnicas comunes. No se debe limitar ninguna de estas especialidades, sino complementarlas para conseguir la mejor calidad en la atención a los pacientes.

La técnica de la ecografía presenta las siguientes ventajas (30):

- No es invasiva y por tanto no es dolorosa.
- Se realiza "in situ", a pie de cama (evitando así el traslado de pacientes potencialmente inestables a una sala de rayos).
- No requiere la inmovilización del paciente, por lo que en la mayoría de las ocasiones, no será necesaria la sedación de los mismos.
- No emite radiaciones ionizantes las cuales es mejor minimizar sobre todo en la población pediátrica.

La utilización de la ecografía como examen a pie de cama, también denominada "Ecografía Clínica" o "Ecografía Dirigida" se fundamenta en la visión de la ecografía como una extensión de la exploración física del paciente realizada por el médico que lo asiste en el lugar donde surge el problema, buscando una respuesta urgente dicotómica (sí o no) y mayor seguridad ante una necesidad diagnóstica o de procedimiento (31,32).

Esta técnica y su aplicación clínica ofrece (33):

- Seguridad, al minimizar posibles complicaciones en la realización de procedimientos, además de evitar radiaciones.
- Eficacia, al facilitar un manejo centrado en las necesidades concretas del paciente.
- Equidad, por ser un recurso disponible a cualquier hora si se tiene en el centro asistencial.
- Inmediatez, al no demorar el diagnóstico y tratamiento.
- Eficiencia, por todas estas ventajas citadas con un coste mínimo tras la inversión inicial.

Es esencial reconocer que el examen ecográfico "a pie de cama" realizado por médicos no especialistas en radiología, como pueden ser los Intensivistas o Anestesiistas, no tiene nada que ver con el realizado en las salas de Radiología por parte de médicos de la especialidad (29). El estudio ecográfico "a pie de cama" es breve, interactivo, y dirigido a responder a preguntas relevantes como por ejemplo: ¿existe un hemoperitoneo?, ¿presenta el paciente taponamiento cardiaco?, ¿se ha producido un neumotórax?, ¿qué acceso venoso es mejor para canalizar? Este planteamiento, ha demostrado que los médicos que lo utilizan pueden realizar exámenes orientados a los problemas urgentes de sus pacientes con mucha precisión siendo de gran utilidad para el manejo de los mismos. Como inconveniente, no hay que olvidar que todos aquellos diagnósticos no buscados, no preguntados o insospechados pueden pasarse por alto.

Así mismo, los equipos de ecografía que se utilizan en los servicios de urgencias no tienen las mismas capacidades ni la misma precisión que los ecógrafos que se utilizan en las salas de Radiología.

Entre las indicaciones de la ecografía a pie de cama podemos citar (31,34):

- Examen del paciente traumatizado en los servicios de urgencias para la identificación rápida de problemas amenazantes para el paciente.
- Uso en procedimientos guiados por ecografía como pueden ser la punción suprapúbica, el acceso vascular, drenaje de colecciones.
- Confirmación de la ubicación del tubo endotraqueal.
- Comprobación de la posición del catéter vascular canalizado y descartar la ausencia de complicaciones sin necesidad de realizar una radiografía de tórax en la canalización de la vena yugular, disminuyendo así las radiaciones innecesarias en los pacientes y los desplazamientos de los técnicos de rayos a las Unidades de Cuidados Intensivos.

El uso de ecografía en la práctica clínica habitual y a pie de cama mejora la seguridad y la eficiencia de los cuidados del paciente pediátrico (35) ofreciendo ventajas sobre las tradicionales técnicas radiológicas como los estudios radiográficos habituales y tomografía

axial computarizada TAC muy utilizadas en los pacientes críticos, pero más complejas técnicamente y con una mayor tiempo de realización.

1.3.-CANALIZACIÓN VASCULAR ECOGUIADA

Centrándonos en la indicación de la ecografía a pie de cama y en concreto en su utilidad para la canalización vascular, destacamos una serie de reseñas de relevancia para facilitar el abordaje vascular:

- En 1978 Ullman y Stoetling (36) utilizan por primera vez el eco-doppler para la colocación de un catéter en la vena yugular interna.
- En 1984 Legler y Nugent (37) canalizan la vena subclavia por vía infraclavicular guiados por ultrasonidos.
- En 1986 Yoney (38) describe la canalización de la vena yugular interna con ecografía bidimensional en tiempo real.
- En 1992 Jaques (39) publica las ventajas de la ecografía vascular aplicada a la técnica de canalización venosa, simplificando la dificultad para el acceso venoso, reduciendo el tiempo del procedimiento y disminuyendo la morbilidad.
- Finalmente en el año 2000, La Rue (40) demuestra el aumento en un 26% de la probabilidad de éxito de la técnica ecoguiada respecto a la técnica de canalización vascular por referencia anatómica y la disminución del número de punciones en un 42% con la técnica ecoguiada .

- Desde el año 2002, the National Institute for Clinical Excellence del Reino Unido (41) recomienda que la canalización de la vena yugular interna de los niños se realice bajo visión ecográfica siempre que se tenga disponible un aparato de ecografía.

Los trabajos citados anteriormente han creado una tendencia positiva a favor de la utilización de la técnica ecoguiada, aumentando, en la última década los estudios y referencias tanto para la canalización de vías periféricas, centrales o centrales de inserción periférica.

Estudios en adultos han mostrado que el uso de la ecografía para la canalización vascular central está asociada con un menor tiempo de colocación, descenso en la tasa de complicaciones y disminución en el número de intentos en diferentes situaciones clínicas (42,43). Así mismo la ecografía también ha mostrado una mayor tasa de éxito en la canalización de vías venosas periféricas en pacientes adultos con accesos difíciles (44).

Existen fundamentalmente tres planos ecográficos con dos abordajes distintos: Eje Transverso-Abordaje Fuera de Plano (ET-FP), Eje Longitudinal-Abordaje En Plano (EL-EP) y Eje Oblicuo-Abordaje En Plano (EO-EP).

Las ventajas e inconvenientes de estos tres planos ecográficos vasculares se presentan en la Tabla 2.

EJE/ABORDAJE	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Transverso/Fuera de Plano	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menor dificultad técnica ▪ Mayor control estructuras adyacentes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No visión total de la aguja de punción ▪ Peor visualización del ángulo y profundidad
Longitudinal/En Plano	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mejor visión del movimiento antero-posterior de la aguja de punción 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mayor complejidad técnica ▪ Menor control de las estructuras adyacentes
Oblicuo/En Plano	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Visión total de la aguja de punción vascular ▪ Mejor control de las estructuras adyacentes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Complejidad técnica media

Tabla 2: Ventajas e inconvenientes de los tres principales ejes ecográficos con sus abordajes para la canalización vascular ecoguiada.

Otra indicación de la ecografía cuando se usa en la población pediátrica es la posibilidad de realizar el examen de los diferentes vasos a puncionar pudiendo identificar así los accesos vasculares que tienen un diámetro pequeño especialmente en relación al tamaño del catéter a utilizar. Lo ideal es que el diámetro externo del catéter no sea mayor de un tercio del diámetro interno del vaso (45). Por lo tanto, el estudio ecográfico de los vasos, pre-procedimiento de punción vascular, puede favorecer la elección tanto del vaso a canalizar como el tipo de catéter a colocar. Así, cuando se necesita un acceso venoso central en niños las venas del área antecubital

(venas cefálica y braquial) pueden ser de gran valor. La vena ideal en esta zona es la vena basílica, ya que se continua con la vena braquial hasta la vena axilar, por lo que es un vaso muy accesible a canalizar en los niños y en la mayoría de las ocasiones mejor opción que otras dado que es más larga, más superficial y tiene un trayecto menos tortuoso si la comparamos con la vena cefálica que es superficial, pequeña y tortuosa. Así mismo está descrito que cuando el tamaño del vaso es menor de 3 mm de diámetro en esta zona, la canalización guiada por ecografía no debería de intentarse y se debería de localizar otro vaso (46).

Por tanto la exploración ecográfica del árbol vascular pre-procedimiento se debería hacer siempre que la situación lo permitiera evaluando:

- La profundidad (distancia desde la piel hasta la superficie del vaso).
- El diámetro interno.
- La trayectoria y regularidad, para descartar en la medida de las posibilidades tortuosidad de algunos vasos.
- La proximidad de otras estructuras anatómicas cercanas como arterias o nervios (Figura 5).
- Las anomalías existentes como pueden ser trombosis o variaciones anatómicas.

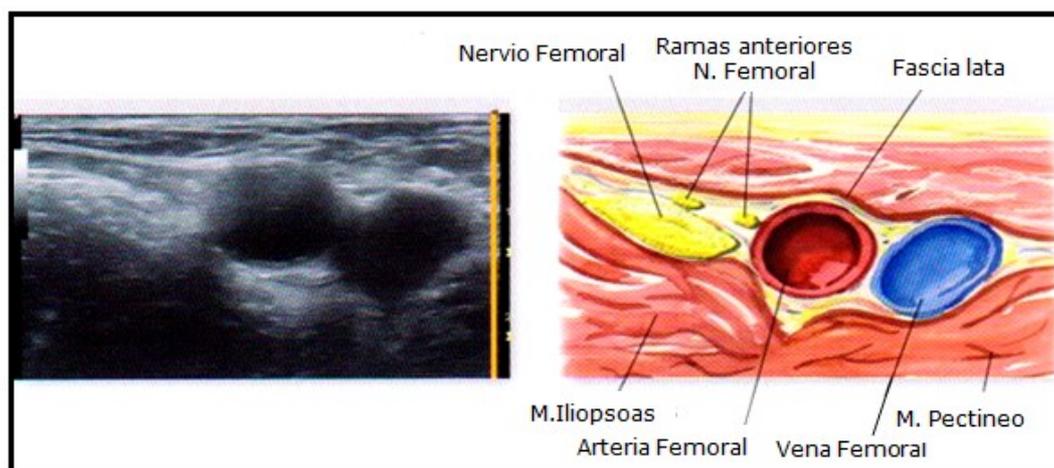


Figura 5: Visión ecográfica de las estructuras vasculo-nerviosas de la región femoral y sus relaciones de proximidad (Tomado con autorización de: Del Olmo Rodríguez C, De Diego Isasa P, Ortega Romero A. *Manual de ecografía básica para anestesia regional*. Madrid: Ergon; 2010.)

Existen estudios donde se objetiva que el uso de la ecografía para la canalización de vasos centrales en niños reduce el número de intentos en la canalización lo que lleva asociado una reducción de las complicaciones (47).

Otro de los factores que dificultan la técnica de canalización vascular a ciegas y aumenta el riesgo de complicaciones en los niños son las variaciones anatómicas de los vasos, que pueden ser detectadas por la ecografía vascular. Encontramos estudios (48) donde se objetiva una incidencia de anomalías en la anatomía venosa de los niños del 18%, objetivando una localización posterior de la arteria carótida respecto a la yugular del 10%. En cuanto a la anatomía de la vena femoral existen series (49) en las que la arteria femoral se superpone a la vena en un 16% de los casos, otros (50)

en los que la arteria femoral está completamente superpuesta a la vena femoral en un 8% de los pacientes pediátricos y algunos autores (51) encuentran en sus series un 45% de superposición parcial inmediatamente distal al ligamento inguinal. La superposición de la arteria femoral a la vena asociado a un diámetro pequeño de los vasos femorales puede dificultar la canalización vascular en esta localización en los pacientes pediátricos. Por ello la utilización de la ecografía y la visualización de estas variantes anatómicas pueden explicar la disminución en el número de intentos en la canalización al compararlos con la técnica a ciegas. También puede servir para prevenir la punción de la cabeza del fémur evitando así la posibilidad de producir necrosis avascular sobre todo en los niños más pequeños.

Por tanto, el uso de la ecografía ofrece información sobre las peculiaridades de los vasos en cuanto a su anatomía, localización, (profundidad y diámetro), dificultad para la canalización por existencia de variantes anatómicas, trombos intramurales, estenosis vasculares o existencia de válvulas que puedan dificultar la progresión del catéter en el interior del vaso. La ecografía permite, además, la exploración completa del árbol vascular pudiendo así elegir el vaso que presente mejor facilidad de acceso y disminuyendo la posibilidad de punción de otras estructuras anatómicas cercanas (26).

En el año 2001, the Association for Health care Research and Quality (52) concluyó, que la colocación de un catéter central guiado

por ecografía era una de las prácticas más infrautilizadas y que su incorporación a la práctica médica podía mejorar la seguridad del paciente.

En relación a los pacientes pediátricos, la canalización percutánea de la vena yugular interna (VYI) en niños es técnicamente más difícil que en el adulto, y puede llevar asociado un riesgo de punción de la arteria carótida, sobre todo en niños menores de 5 años en relación a niños mayores y adultos. La proximidad de la arteria carótida a la vena yugular y el pequeño calibre de los vasos hace que la punción de la carótida sea más frecuente durante la canalización de la vena yugular en niños más pequeños. El uso de la ecografía incrementa el éxito de la canalización venosa yugular disminuyendo la incidencia de punción de la arteria carótida (53).

Tras revisión de la literatura se objetiva, sobre todo en adultos pero también en niños (aunque en series más pequeñas), y en lo que se refiere a la canalización de la VYI en pacientes pediátricos, que la CVE tiene claros beneficios al compararla con la canalización tradicional según referencia anatómica, ya que disminuye la tasa de fallos, el número de intentos, la tasa de complicaciones y se emplea menos tiempo en la canalización, sobre todo en operadores con poca experiencia y que se están iniciando en la técnica de la canalización venosa central (41) (24,54,55).

1.4.- FORMACIÓN Y CURVA DE APRENDIZAJE EN LA TÉCNICA DE PUNCIÓN VASCULAR ECOGUIADA

Parece claro, por tanto, que el uso de la ecografía en los servicios pediátricos de Urgencias, Cuidados Intensivos y Anestesia debe desarrollarse e implantarse. Sin embargo al abordar un programa de formación en ecografía para especialistas distintos a la radiología es necesario tener en cuenta las limitaciones que puedan depender tanto de los operadores como de los equipos de ecografía utilizados para los estudios. Debemos saber cuáles son los posibles usos de la ecografía a pie de cama en el paciente grave así como determinar según la clínica del paciente la toma de decisiones según la imagen obtenida. Aunque para los estudios diagnósticos aún no se han establecido bien las indicaciones pediátricas y son necesarios más estudios para evaluar si la utilidad que presenta en el adulto se asemeja con la utilidad en el paciente pediátrico sí que se ha demostrado la utilidad de la ecografía para algunos procedimientos invasivos siendo mayor la tasa de éxito y menor la duración de estos procedimientos. Las habilidades en la utilización de la ecografía vienen dadas con la práctica y la frecuencia de su uso. Todo parece apuntar a que la ecografía es una técnica muy prometedora que puede mejorar los diagnósticos dirigidos a pie de cama, disminuir el malestar del paciente según la técnica realizada y facilitar la atención rápida si el paciente lo necesita ya en el propio servicio sin necesidad de traslado en muchas ocasiones (30).

Al igual que ocurre con otras herramientas clínicas, las habilidades de los médicos no radiólogos dependerán de su formación en la técnica así como de su experiencia clínica (Figura 6)

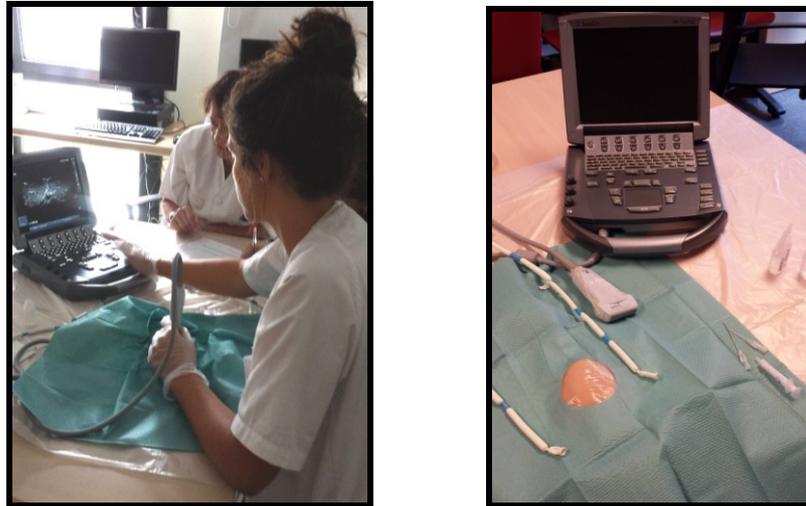


Figura 6: Punción vascular ecoguiada durante un taller de formación y entrenamiento

El principal problema de la instauración de toda técnica en la práctica clínica es la necesidad de un aprendizaje de la misma. A continuación revisamos los modelos más utilizados en el entrenamiento de la canalización vascular ecoguiada y los programas de formación basados en la simulación.

La simulación ha sido definida como la representación de algo como real, es decir, una situación en la que se crean artificialmente una serie de condiciones que asemejan a la realidad ya sea para estudiar algo o para servir como entrenamiento en la práctica de un nuevo procedimiento médico (56). A la hora de implantar una técnica, como puede ser la CVE en el paciente pediátrico, se

necesitan adquirir una serie de destrezas que servirán para alcanzar las aptitudes necesarias para la canalización vascular.

Estas habilidades abarcan:

- El conocimiento y la comprensión del dispositivo empleado, en nuestro caso el equipo de ecografía en su totalidad.
- La visualización y optimización de la imagen vascular y de la aguja.
- La capacidad para adquirir la destreza necesaria en la utilización de la sonda de ecografía y la inserción de la aguja al realizar el procedimiento de canalizar un vaso guiado por ecografía (57).

El uso de modelos de simulación que sirvan como entrenamiento para procedimientos diagnósticos o terapéuticos:

- Mejora la calidad asistencial de los pacientes, sobre todo si estas técnicas no están desprovistas de complicaciones y riesgos.
- Disminuyen el estrés que puede producir la realización de una nueva técnica directamente en el paciente.
- Pueden ser usadas tantas veces como se reproduzca el modelo, sirviendo también como método para la resolución de algunos problemas que puedan aparecer relacionados con la técnica in vivo (58).

La evidencia demuestra que la simulación juega un papel importante en la adquisición de habilidades para la realización de los

procedimientos invasivos (59). El uso de la ecografía en los accesos vasculares ya sean periféricos o centrales, arteriales o venosos, mejora la tasa de éxito en la canalización y reducen las complicaciones derivadas de la técnica (60). Sin embargo la curva de aprendizaje que toda técnica invasiva requiere, junto a la preparación del ecógrafo para esta técnica (la esterilización de la sonda, selección del "preset" o configuración adecuada, plano de punción, etc.) hace que la CVE se desplace muchas veces a un segundo plano y se mantenga la técnica clásica "a ciegas" asumiendo las complicaciones asociadas a ella que se incrementan en determinadas situaciones críticas (coagulopatía, plaquetopenia, obesidad...) sobre todo en el paciente pediátrico dada la variabilidad de la profundidad y diámetro de sus vasos con respecto a la población adulta.

1.5.- TIPOS DE MODELO DE ENTRENAMIENTO PARA LA CVE

Es sorprendente que los modelos no humanos, de simulación o experimentales se utilicen poco para el aprendizaje de las técnicas invasivas como puede ser la canalización vascular guiada por ecografía. Cualquier proceso de entrenamiento en un modelo de simulación supone una oportunidad para practicar la técnica sin riesgo y lleva consigo el aprendizaje del uso de los ultrasonidos. Todo ello, factible para mejorar la seguridad de los pacientes a la hora de realizar procedimientos invasivos en el niño (59).

Los modelos de entrenamiento pueden ser excesivamente caros, de difícil acceso o bien no transmiten de forma óptima los ultrasonidos.

Dentro de los modelos experimentales o de entrenamiento que permitan la simulación vascular para el entrenamiento en la CVE, la mayoría de ellos son sintéticos o biológicos. Algunos están disponibles de forma comercial y otros pueden ser fabricados de forma manual por cualquier persona. Existen modelos "*in vivo*" realizados en animales de experimentación, modelos artificiales comerciales como el Blue Phantom[®] o modelos de silicona o látex y modelos artesanales sintéticos fabricados manualmente con gelatina/agar o modelos animales tisulares realizados en muslos de pollo, pavo o pechuga de pollo. Cada uno de estos modelos deben tener unas estructuras tubulares en su interior, ya sean de plástico, látex o goma, rellenas de líquido, asemejando los vasos sanguíneos que queremos canalizar (61).

Así mismo los modelos se pueden dividir en modelos de punción-canalización o bien de punción-localización según la utilidad de los mismos.

1.5.1.- Características de un modelo de entrenamiento

Un modelo de entrenamiento ideal utilizado para la realización de procedimientos de canalización vascular guiados por ecografía debería (62):

- Reproducir la textura y la resistencia del tejido humano.
- Tener la suficiente superficie de penetración para transmitir bien los ultrasonidos.
- Poder identificar y localizar las distintas estructuras tisulares.
- Obtener una imagen óptima.
- Permitir diferentes niveles de dificultad y complejidad a la hora de realizar el procedimiento.
- Evitar, en la medida de lo posible, que se marque el trayecto de la aguja.
- Poder visualizar la aguja.
- Mantener una larga vida media
- Ser fácilmente transportable, y reproducible en cualquier medio.
- Tener fácil accesibilidad y ser económicamente asequible.

1.5.2.- Ventajas y desventajas de los modelos de entrenamiento para la CVE

1. Blue Phantom[®]: simulador comercial disponible como modelo de entrenamiento para procedimientos donde utilizemos los ultrasonidos como guía para el acceso vascular (Figura 7).

Son económicamente caros, inicialmente fijos y no cambiables, aunque los últimos modelos permiten incluso la simulación del latido arterial (Figura 8). Suele quedar marcado el trayecto de la aguja. Al

pinchar no se tiene la sensación real de los tejidos humanos. Requieren un mantenimiento y se deterioran tras múltiples punciones. No están fácilmente disponibles ni al alcance de todos (61,63,64).



Figura 7: Modelo Blue Phamton®



Figura 8: Imagen ecográfica Vena yugular interna y Arteria carótida (Modelo Blue Phamton®)

2. Modelos de silicona: son modelos comerciales compuestos por un molde de silicona y en su interior una estructura tubular que permite la simulación del acceso vascular que se puede ir rellenando tras su punción. Tienen larga vida media y son fácilmente transportables, pero suelen tener poca área de superficie al no ser de gran tamaño, su precio es elevado, y no están disponibles para todo el mundo. El trayecto de la aguja queda marcado después de muchos usos (65) (Figura 9).



Figura 9: Modelo de Silicona para simulación en punción vascular ecoguiada.

3. Modelos de gelatina/agar: consta de un molde de gelatina o agar en el que se introduce una estructura elástica tubular (en algunas ocasiones drenajes quirúrgicos tipo Penrose de distinto tamaño) Han sido utilizados por radiólogos para el aprendizaje y la docencia de procedimientos guiados por ecografía (Figura 10).

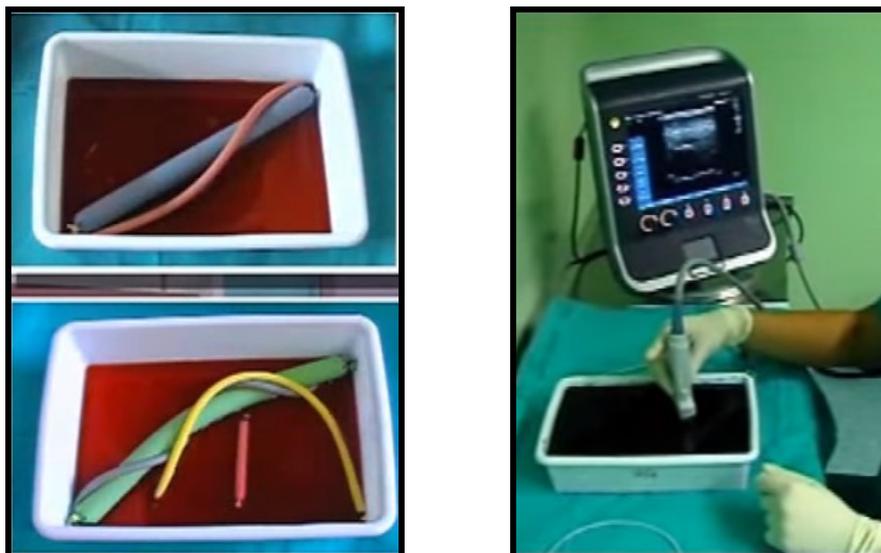


Figura 10: Modelo de Gelatina: Drenajes tipo Penrose rellenos con distintos colorantes hidrosolubles, anclados en varias capas de Gelatina. (Cortesía del Dr. Vicente Roqués)

Son fáciles de construir con productos de cocina al alcance de todos y son ideales para aprender y mejorar la coordinación mano-ojo. Sin embargo, suelen dar una apariencia uniforme de la imagen ecográfica (Figura 11) sin objetivarse diferentes estructuras musculares o tendinosas (salvo que la preparación se realice asociando algún componente tipo mucilago), dejan marcado el trayecto de la aguja después de varios intentos, no se tiene la sensación de pinchar un tejido real. Dependiendo de la concentración de gelatina usada en la fabricación del modelo puede ser muy fácilmente dañable y los movimientos de la aguja hacia los lados al introducirse en la gelatina/agar pueden que no sean fácilmente controlables al intentar pinchar el vaso (66).

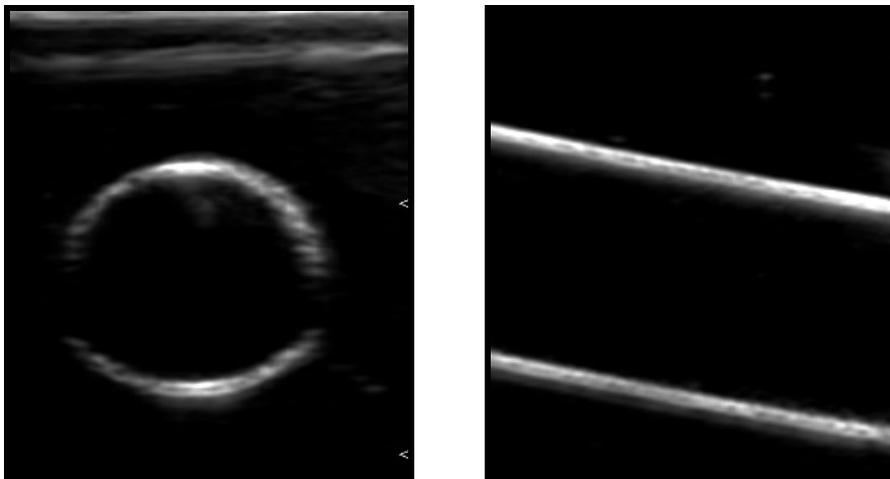


Figura 11: Visión ecográfica de los ejes transverso (izda) y longitudinal (drcha) en el modelo de Gelatina

4. Modelo animal:

a) "in vivo": utilizando animales de experimentación, lo que supone un coste, autorizaciones y una preparación laboriosa para su

realización en condiciones óptimas (sedación, ventilación mecánica, monitorización, permisos y autorizaciones, etc.) y una limitación en el número de punciones.

b) Cadáveres: son herramientas útiles para la formación práctica ya que permiten la manipulación de la sonda sobre superficies irregulares, la alineación de la sonda, el seguimiento de la aguja y la sono-anatomía. Las desventajas incluyen la falta de disponibilidad de cadáveres, la aprobación ética necesaria para este tipo de procedimientos, la necesidad de almacenamiento en frío, riesgo infeccioso, y la ausencia de flujo pulsátil (67,68).

c) "artificiales": fabricados de forma manual utilizando como *estructura muscular*, muslos de pollo, pavo o cerdo, pork-belly, bloque de embutido o tofu y como *estructura vascular* distintos componentes elásticos (sondas urinarias, drenajes torácicos, trocar metálico, sistemas de infusión de sueros, etc). Con ellos se consigue una simulación real de los distintos tejidos tanto desde el punto de vista de la visión ecográfica, como de la sensación al puncionar y al canalizar el vaso. Son asequibles en su preparación aunque precisan de un mínimo de tiempo para su construcción. Además el coste económico es bajo, siendo fácilmente, manejables y transportables. Permiten en su diseño diferentes grados de complejidad, según diámetro y profundidad del vaso, pudiendo aumentar el nivel de dificultad a medida que va avanzando en el proceso de entrenamiento. Por otra parte y como desventajas necesitan de la

refrigeración para su conservación, su vida media es de unas semanas por deteriorarse la estructura muscular y presentan la posibilidad de introducir aire en la estructura vascular durante su preparación por lo que hay que manejarla con cuidado (69–71).

Las principales ventajas e inconvenientes de los modelos de punción-canalización se presentan en la Tabla 3.

Modelos de simulación	Ventajas	Inconvenientes
<i>Blue Phantom</i> [®]	Transportable Larga vida media Gran área de superficie	No reproduce textura de tejido humano Marcado trayecto de la aguja Imagen muscular y vascular poco real Caros
<i>Silicona</i>	Trasportable Larga vida media	Pobre área de superficie Caros Marcado trayecto de la aguja
<i>Gelatina/Agar</i>	Transportable Barato Fácil construcción	Apariencia uniforme de imagen ecográfica No reproduce textura de tejido humano Marcado trayecto de la aguja Fácilmente dañable Posibilidad de artefactos por aire en la estructura vascular
<i>Animal "in vivo"</i>	Gran semejanza con la realidad Gran área de superficie	No transportable Gran coste Precisa gran infraestructura para su disponibilidad Limitación en nº de punciones
<i>Animal "artificial"</i>	Transportable Fácil construcción Económico Reproduce textura de tejido humano Fidelidad imagen muscular y vascular	Vida media corta Tiempo para su preparación Posibilidad de artefactos por aire en la estructura vascular

Tabla 3. Modelos de entrenamiento de punción vascular ecoguiada: "pros y contras"

5. Simuladores informáticos: Simuladores de alta fidelidad basada en algoritmos informáticos se han utilizado para el entrenamiento en los procedimientos guiados por ecografía. Como desventajas citar el alto coste y la necesidad de soporte informático. Las ventajas incluyen la total ausencia de problemas de control de la infección, la posibilidad de modificar el nivel de complejidad / dificultad. Los simuladores se pueden instalar en un entorno no clínico, tales como una sala de formación y pueden estar disponibles a cualquier hora del día o de la noche (72).

6. Modelos de punción-localización: Son modelos artificiales utilizados habitualmente por los radiólogos para el entrenamiento en localización y punción de estructuras quísticas o nodulares a nivel hepático, mamario y tiroideo principalmente. Se utilizan para la familiarización con el ecógrafo, y la técnica de punción en procedimientos ecoguiados. El *componente muscular/tisular* puede ser: porciones de tofu, hígado o pechuga animal, bloques de embutidos o dilución de agua tibia con espesante alimenticio introducido dentro de un guante quirúrgico. El *componente vascular/nodular* también es variado, desde aceitunas con/sin hueso, bolitas-tacos de queso, pastillas de goma-gominolas, alambre-aguja de punto, etc., incluidas en el interior del componente muscular/tisular (73) (Figura 12).

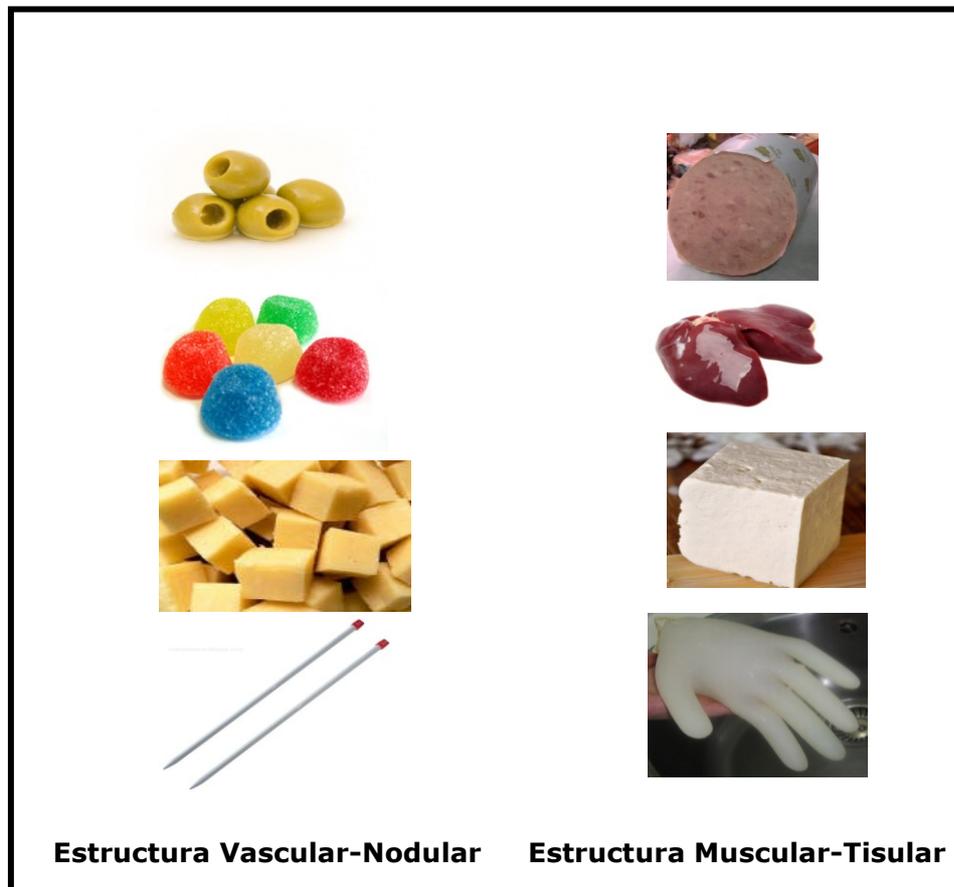


Figura 12: Componentes de distintos modelos de punción-localización.

Tras la revisión del estado de la técnica de punción ecoguiada y de los modelos de entrenamiento en la misma, pensamos, al igual que otros autores, que con una apropiada formación en el uso de los ultrasonidos, la CVE en niños se asociaría a una menor tasa de complicaciones y mayor tasa de éxito que la canalización a ciegas por referencia anatómica (74).

Sin embargo, a pesar de que la disponibilidad de esta tecnología está empezando a incrementarse para los pacientes, todavía muchos programas de urgencias pediátricas no usan la ecografía en el cuidado de sus pacientes. En un reciente estudio a los

médicos de servicios de urgencias pediátricas, solamente el 61% de los informes recogidos utilizaban la ecografía, siendo la tercera aplicación más común la canalización de una vía venosa central (75).

A pesar de la seguridad de la técnica, los altos niveles de evidencia referidas anteriormente (76,77) y que incluso se ha sugerido como un estándar de cuidado por The National Institute for Clinical Excellence in the United Kingdom, Calvert et al (78), muestran en su estudio que el uso de la ecografía para la canalización de vasos centrales permanece limitado a pesar de las recomendaciones basadas en la evidencia. Esta infrautilización en la técnica de punción vascular ecoguiada puede deberse a:

- Inmovilismo del personal sanitario, que lleva realizando durante muchos años una técnica por referencias anatómicas, visualización o palpación que dificulta la transición hacia la técnica ecoguiada.
- Desconocimiento de una técnica procedente de otra especialidad, como es la Radiología, que precisa unas nociones básicas y unas habilidades técnicas.
- Instauración lenta de los programas de formación en la técnica.
- La ausencia de disponibilidad de equipos en su área de trabajo.

Para llevar a cabo la técnica de canalización de una vía venosa central en niños es necesaria una curva de aprendizaje así como

también realizar una práctica regular para adquirir y mantener las habilidades y competencias necesarias. La tasa de éxito y aparición de complicaciones dependerá de varios factores como el tamaño de los vasos y condiciones del niño, la experiencia del operador, el sitio de canalización y la presencia de anomalías vasculares, alteraciones de la coagulación o canalizaciones previas (79).

Tras revisar el abordaje vascular con la técnica ecoguiada, sus peculiaridades en los pacientes pediátricos y la necesidad de implementar la curva de aprendizaje con el entrenamiento en modelos de simulación planteamos este trabajo con el fin de:

- Localizar los vasos pediátricos y en base a sus medidas y profundidad diseñar un modelo de simulación.
- Analizar los aspectos más controvertidos de la CVE en el modelo diseñado.
- Describir la curva de aprendizaje en la técnica de CVE.

OBJETIVOS

2.- OBJETIVOS

2.1.-OBJETIVO PRINCIPAL

- Diseñar un modelo de simulación para el entrenamiento de la CVE en pacientes pediátricos.

2.2- OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Utilizar la ecografía para visualizar y localizar los principales vasos centrales del paciente pediátrico.
- Estimar la profundidad y diámetro de los principales vasos centrales en los pacientes pediátricos.
- Evaluar el modelo diseñado para la CVE por operadores sin experiencia.
- Analizar los factores asociados al éxito en la CVE en el modelo diseñado, por operadores con distinto grado de experiencia,
- Describir la curva de aprendizaje de la CVE en el modelo de simulación.
- Comparar la curva de aprendizaje de la CVE en el modelo diseñado en base a la experiencia del operador.

MATERIAL Y MÉTODOS

3.- MATERIAL Y MÉTODOS

3.1.- TIPO DE ESTUDIO

Estudio experimental.

3.2.- DISEÑO DEL ESTUDIO

3.2.1.-Localización y medida de vasos centrales en el paciente pediátrico

Los vasos elegidos serán la arteria femoral (AF), la vena femoral (VF) y la vena yugular interna (VYI), por ser los más frecuentemente canalizados en el paciente pediátrico. Estos serán medidos bilateralmente en todos los niños que ingresen en UMIP, tras solicitud de consentimiento informado a sus familiares (Anexo I). Los resultados servirán de base para el diseño de un modelo de entrenamiento para la CVE.

Los vasos femorales se medirán en su diámetro antero-posterior entre 0.5-1 cm por debajo del ligamento inguinal y en el punto medio de la línea que une la espina iliaca antero-superior y el reborde externo de la sínfisis del pubis ipsilateral.

Los vasos yugulares se medirán en su diámetro antero-posterior a nivel cervical, en el punto de intersección entre la línea perpendicular al eje longitudinal del cartílago cricoides y la prolongación caudal de la rama ascendente del maxilar inferior.

Se establecerá, si existe correlación de las medidas de profundidad y diámetros vasculares con variables antropométricas y demográficas de los pacientes pediátricos.

3.2.2.- Modelo experimental de entrenamiento en canalización vascular ecoguiada

Se diseñará un modelo de entrenamiento para la CVE en base a los resultados obtenidos en las mediciones de los pacientes pediátricos. Se establecen tres rangos de profundidad y tres rangos de diámetro vascular para incluir las combinaciones de estos parámetros en los pacientes pediátricos según edad, talla y peso.

Para la realización de las punciones se utilizará:

- Catéter Seldicath 3Fr de 11 cm
- Guía radiopaca de 300 mm
- Aguja de 20 G (diámetro externo 0,92mm) 5,5 cm de longitud.
- Jeringa de 2 ml para aspiración de contenido vascular.
- Guantes estériles
- Paño fenestrado adhesivo
- Ecógrafo Philips HD 7[®] con sonda lineal multifrecuencia (L12-5), seleccionando la configuración "vascular".
- Funda de plástico protectora de la sonda.
- Gel ó líquido conductor.

3.3.- PROCEDIMIENTO

3.3.1.- Punción en modelo de entrenamiento por operadores sin experiencia en CVE

Este modelo servirá para constatar preliminarmente la utilidad o no del mismo, por parte de 25 operadores sin experiencia en punción vascular ecoguiada. Realizarán un total 300 punciones (12 punciones por operador), en un Taller de 4 horas de duración (2 Teóricas y 2 Prácticas). Las punciones se realizaran en los ejes Transverso-fuera de plano y Longitudinal-en plano. Dichos participantes lo hacen de forma voluntaria y anónima, autorizando la publicación de los resultados del Taller (Anexo II).

3.3.2.- Punción en modelo de entrenamiento por operadores con distinto grado de experiencia en CVE

Posteriormente, se realizará un estudio más detallado por parte de 2 operadores con distinto grado de experiencia en CVE (utilizando el modelo de entrenamiento diseñado), consistente en simulaciones semanales de 24 punciones (Figura 13). Durante las primeras 9 semanas del estudio **(Simulaciones Iniciales)**, cada operador realizará un total de 9 simulaciones (1 simulación/semana) combinando los tres rangos de profundidad y diámetro vascular para abarcar el máximo de posibilidades de profundidad y diámetro vascular. Posteriormente se volverán a repetir estas 9 simulaciones

por operador (**Simulaciones Finales**), entre la semana 10 y la semana 18 del estudio.

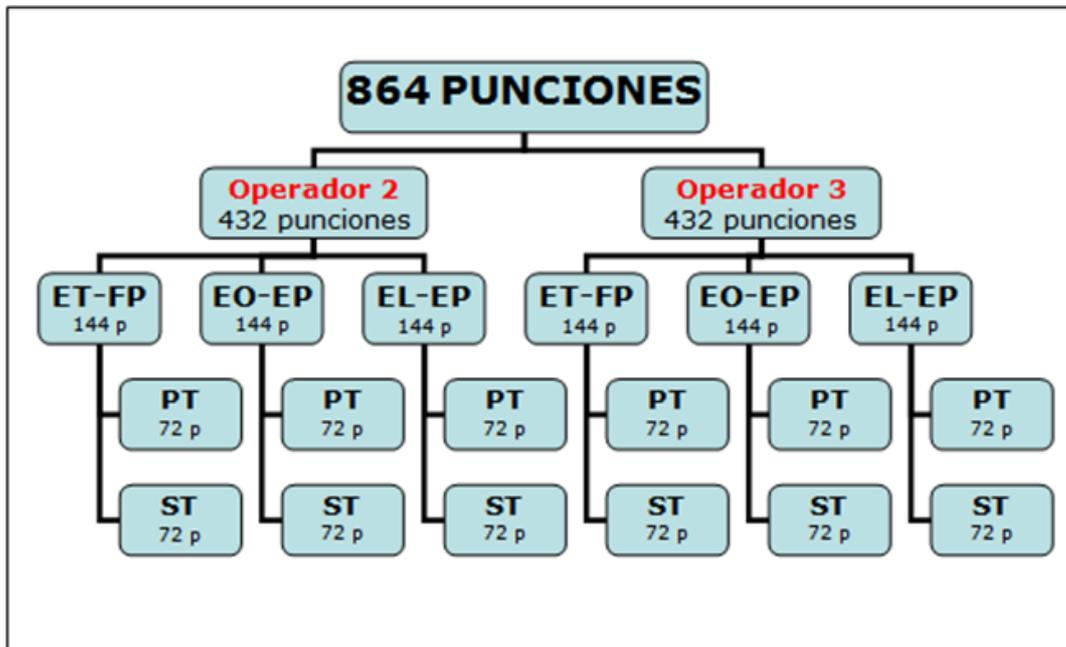


Figura 13: Distribución de las series de punciones vasculares realizadas por dos operadores con distinto grado de experiencia en el modelo de entrenamiento diseñado.

Las punciones se distribuirán equitativamente entre los:

a) Ejes ecográficos:

- Eje transverso-fuera de plano (ET-FP)
- Eje Oblicuo-en plano (EO-EP)
- Eje Longitudinal en plano (EL-EP)

b) Rangos de profundidad vascular:

- Profundidad I (P1)
- Profundidad II (P2)
- Profundidad III (P3)

c) Rangos de diámetro vascular:

- Diámetro I (D1)
- Diámetro II (D2)
- Diámetro III (D3)

d) Distancias de abordaje respecto al transductor:

- Próxima al transductor
- Separada del transductor

3.3.3.-Fidelidad del modelo de entrenamiento en CVE

Los operadores sin experiencia en CVE, tras la realización del Taller teórico-práctico inicial valorarán el modelo de entrenamiento respondiendo a 5 cuestiones en una escala desde el 1 al 5 de menor a mayor semejanza entre el modelo y el paciente pediátrico real (Anexo III). Las puntuaciones obtenidas variaran desde 25 puntos que reflejaría "Mínima Semejanza" hasta 125 puntos (100%) ó "Máxima Semejanza" del modelo de entrenamiento con el paciente pediátrico real.

3.3.4.-Valoración de la curva de aprendizaje de la técnica de CVE en el modelo de entrenamiento diseñado

La curva de aprendizaje de la técnica se valorará comparando los resultados de las punciones:

- a) Intergrupos: operadores sin experiencia en la técnica (Grupo I) o con experiencia (Grupos II y III).

b) Intragrupo: operadores con distinto grado de experiencia (Grupos II y III).

Se comenzará la serie por la de menor profundidad y mayor diámetro (teóricamente menor dificultad) hasta llegar a la de mayor profundidad y menor diámetro (teóricamente de mayor complejidad).

Se realizará una hoja de recogida de datos (Anexo IV) en la que quedará reflejado:

- 1) Fecha, número de orden de simulación, número de orden de la punción
- 2) Rango de profundidad y diámetro vascular
- 3) Profundidad y diámetro del vaso a puncionar
- 4) Eje y abordaje en el que se realiza la punción
- 5) Operador que realiza la punción
- 6) Punción próxima o separada del transductor
- 7) Grado de visión de la aguja de punción
- 8) Tasa de éxito de la canalización
- 9) Tasa de éxito en primera punción
- 10) Número de intentos realizados para la canalización
- 11) Tiempo empleado en la técnica
- 12) Actuaciones realizadas para la correcta canalización del vaso una vez puncionado
- 13) Tasa de complicaciones

3.4.- DEFINICIONES

- **Operador:** personal sanitario de Enfermería o Médico con o sin experiencia en la técnica ecoguiada que realiza la punción vascular. Se distinguirán 3 grupos de operadores:
 - a) Grupo I (Operador 1):** Operadores sin experiencia en CVE, pero con experiencia en canalización venosa central por "técnica a ciegas", canalización central desde inserción periférica o canalización venosa periférica.
 - b) Grupo II (Operador 2):** Operador con 3 meses de experiencia en CVE en modelos de entrenamiento o "*in vivo*".
 - c) Grupo III (Operador 3):** Operador con 6 meses de experiencia en CVE en modelos de entrenamiento o "*in vivo*".

- **Profundidad vascular:** Distancia desde la superficie de la piel o estructura muscular del modelo hasta la pared anterior del vaso o estructura vascular del modelo de entrenamiento, medida por ecografía vascular.

- **Rangos de profundidad vascular:** Se establecerán 3 rangos en relación a la distancia a la que se introduzca la estructura vascular respecto a la superficie de la estructura muscular:
 - a) P1:** 0.5-1 cm;

b) P2: 1,1-1.5 cm;

c) P3: 1.51-2 cm.

- **Diámetro vascular:** Distancia desde la pared anterior del vaso o estructura vascular hasta la pared posterior del mismo medida por ecografía vascular.
- **Rangos de diámetro vascular:** Se establecerán 3 rangos en relación al grado de estiramiento de la estructura vascular:
 - a) D1:** 0,51-0,65 cm
 - b) D2:** 0,36 -0,50 cm
 - c) D3:** 0,2-0,35 cm
- **Abordaje:** Dirección de inserción de la aguja de punción respecto al eje mayor del transductor. Se puede distinguir:
 - a) En plano:** La aguja sigue el eje mayor del transductor
 - b) Fuera de plano:** La aguja no sigue el eje mayor del transductor.
- **Eje ecográfico:** Visión obtenida de la estructura muscular y vascular del modelo, situando la sonda ecográfica en distintas posiciones sobre la superficie del mismo.
 - a) Eje Transverso-Abordaje Fuera de Plano :** La sonda ecográfica se situará perpendicular a la estructura vascular

formando con ella un eje aproximado de 90°. La visión vascular será circular.

La aguja no sigue el eje mayor del transductor.

b) Eje Oblicuo-Abordaje en Plano : La sonda ecográfica se girará desde el plano transverso en sentido horario 45° respecto a la estructura vascular. La visión vascular será ovalada.

La aguja sigue el eje mayor del transductor

c) Eje Longitudinal-Abordaje en Plano: La sonda ecográfica se situará paralela a la estructura vascular siguiendo el eje longitudinal del vaso. Dicho plano se obtendrá partiendo desde la posición del eje transverso, girando el transductor en sentido horario 90°. La visión vascular será tubular.

La aguja sigue el eje mayor del transductor.

- **Tiempo de procedimiento:** período de tiempo expresado en segundos (s) desde que se punciona la piel con la aguja hasta que se acaba el total de los intentos realizados.

- **Tiempo hasta canalización:** periodo de tiempo, expresado en s, desde que se punciona la piel con la aguja hasta que se consigue la correcta ubicación de la guía.

- **Número de Intentos:** Número de punciones que se realizan, retirando la aguja completamente y volviéndola a introducir para la correcta penetración en la estructura vascular o visualización de la aguja. No se considera intento la modificación de la dirección o profundidad de la aguja para conseguir la correcta penetración en la estructura vascular.

- **Tasa de Éxito:** porcentaje de correcta canalización vascular. Se valora la aspiración de líquido en jeringa o su salida de forma espontánea por la aguja y el paso de la guía a través de la aguja sin problemas. Además se comprobará ecográficamente la canalización vascular con la guía o bien a través de la palpación de la guía en el extremo distal de la estructura vascular.

- **Tasa de Éxito al primer intento:** porcentaje de correcta canalización vascular realizando un solo intento.

- **Canalización reubicando guía (CRG):** Tras puncionar el vaso y refluir su contenido espontáneamente o tras aspiración con jeringa, no se consigue la inserción de la guía siendo preciso la movilización de la aguja o la modificación de su angulación, para la correcta canalización vascular.

- **Perforación vascular/mala posición de guía (PV/MPG):**
La guía atraviesa la pared posterior de la estructura vascular visualizándose esto en el control ecográfico o bien se ubica en la estructura muscular del modelo o atravesando éste y siendo visible al operador.
- **Visión aguja (VA):** Se valorará por el operador con mayor experiencia la visualización de la aguja durante el procedimiento. Se considerará:
 - a) Visión completa (VCA):** La aguja se visualiza durante todo el periodo de realización de la punción ecoguiada
 - b) Visión parcial (VPA):** La aguja se visualiza en algún momento de realización de la punción ecoguiada.
 - c) No visión (NVA):** La aguja no se visualiza en ningún momento de la realización de la punción ecoguiada.
- **Distancia al transductor:** Distancia a la que se introduce la aguja de punción en relación al transductor ecográfico
 - a) Punción próxima al transductor (PPT):** Aquella que se realiza lo más próxima posible a la sonda ecográfica.
 - b) Punción separada del transductor (PST):** Aquella que se realiza a una distancia de la sonda ecográfica equivalente a la profundidad a la que se encuentra el vaso medido ecográficamente.

3. 5.- MEDICIONES Y FÓRMULAS

Para la descripción de la población pediátrica estudiada y para la estimación de la profundidad y diámetro de los principales vasos centrales del paciente pediátrico se utilizaron las siguientes determinaciones:

- **Talla:** Medida en centímetros (cm) de la longitud desde el punto más alto a nivel craneal hasta el tarso. Se realizará con cinta métrica convencional a pie de cama.
- **Peso:** Medido en kilogramos (Kg) con báscula electrónica al ingreso en la Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos.
- **Superficie corporal (SC):** Expresada en metros elevados al cuadrado (m²) y calculada en base a la fórmula de Mosteller (80):

$$SC:[Talla (cm) \times Peso (kg)/3600]^{1/2}$$

3.6.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se realizó usando el paquete estadístico para las ciencias sociales versión 19 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)

Las variables cualitativas se resumieron mediante sus frecuencias y porcentajes y las numéricas por sus medias, desviaciones típicas y medianas.

Para evaluar la normalidad de las variables numéricas continuas se aplicó el test de Kolmogorov-Smirnov. Para estudiar la posible

asociación entre variables categóricas se empleó el test de independencia de la Ji-cuadrado y el test de la t-Student para dos muestras independientes para comparar las medias entre variables continuas.

Para predecir el diámetro vascular y la profundidad en función de la edad, peso, talla y superficie corporal se utilizaron técnicas de análisis de la covarianza y modelos de regresión lineal múltiple.

El nivel de significación fue del 5%.

3.7.- CONSIDERACIONES ÉTICAS

El estudio se ha regido por los principios básicos contenidos en la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial (81). Se han mantenido los niveles más altos de conducta profesional y confidencialidad y se ha seguido la legislación nacional aplicable en materia de protección de datos.

El derecho a la confidencialidad del paciente y profesional participante está garantizado y su identidad ha sido codificada. Solo las personas autorizadas han tenido acceso a detalles personales que pudieran identificar al paciente si los procesos de verificación de los datos así lo han requerido.

Se utilizaron ilustraciones e imágenes previa autorización de los autores y editores (Anexo V y VI)

El proyecto de investigación ha sido aprobado por el Comité Ético de Investigación Clínica del Complejo Hospitalario Universitario

Insular-Materno Infantil de Canarias. En todos los casos se obtuvo el consentimiento informado del paciente.

3.7.1- Conflicto de intereses

El autor de esta tesis declara que no tiene ni ha tenido ninguna relación económica o personal que haya podido sesgar o influir de forma inadecuada en la confección de este trabajo.

Declara también que no posee ninguna relación financiera o personal con personas o instituciones que pudieran dar lugar a un conflicto de intereses en relación con esta tesis.

Por otra parte declara también que no ha recibido ni está pendiente de recibir ninguna fuente de financiación por el diseño del estudio, la colección de los datos, el análisis o la interpretación de éstos, en la redacción del manuscrito o en la decisión de enviarlo para su publicación.

RESULTADOS

4.- RESULTADOS

4.1.- LOCALIZACIÓN ECOGRÁFICA DE LOS VASOS CENTRALES PEDIÁTRICOS

4.1.1- Medición de profundidad y diámetro de los vasos centrales pediátricos

Se incluyeron en el estudio 125 pacientes pediátricos con una media de edad de 65,7 (61,9) meses y una distribución por sexos de 56,2 % para los niños y 43,8% para las niñas. Su peso y talla medias fueron de 20,6 (17,6) kg y 96,9 (39,6) cm respectivamente y su SC de 0,72 (0,45) m² (Tabla 4).

	N	Mínimo	Máximo	Media	DE
Edad (meses)	125	0,06	192,00	65,72	61,86
Talla (cm)	125	45,00	175,00	96,92	39,60
Peso (Kg)	125	2,40	73,00	20,60	17,65
SC (m ²)	125	0,17	1,85	0,72	0,45

Tabla 4: Características de la población pediátrica estudiada

En estos pacientes pediátricos, se realizaron mediciones de profundidad y diámetro de los principales vasos centrales: 250 a nivel de AF, 250 a nivel de la VF y 250 en las VYI.

Los vasos venosos femorales y yugulares internos se localizaron más profundos en relación a las arterias femorales. Las venas yugulares presentaron una profundidad media similar a las venas femorales (Tabla 5).

	N	Mínimo	Máximo	Media	DE
PAF	250	0,19	2,00	0,72	0,34
PVF	250	0,30	2,26	0,79	0,35
PVYI	250	0,30	1,80	0,77	0,24

Tabla 5: Medidas de profundidad (P) de los vasos centrales pediátricos (expresadas en centímetros)

Los vasos yugulares internos presentaron un mayor diámetro medio respecto a los vasos femorales (Tabla 6).

	N	Mínimo	Máximo	Media	DE
DAF	250	0,15	0,78	0,37	0,17
DVF	250	0,13	1,05	0,42	0,22
DVYI	250	0,16	1,14	0,59	0,23

Tabla 6: Medidas de diámetro (D) de los vasos centrales pediátricos (expresadas en centímetros)

La imagen ecográfica de los vasos a nivel femoral y yugular y sus mediciones de profundidad y diámetro vascular, visualizados en el ET-FP se presentan en las Figuras 14 y 15.

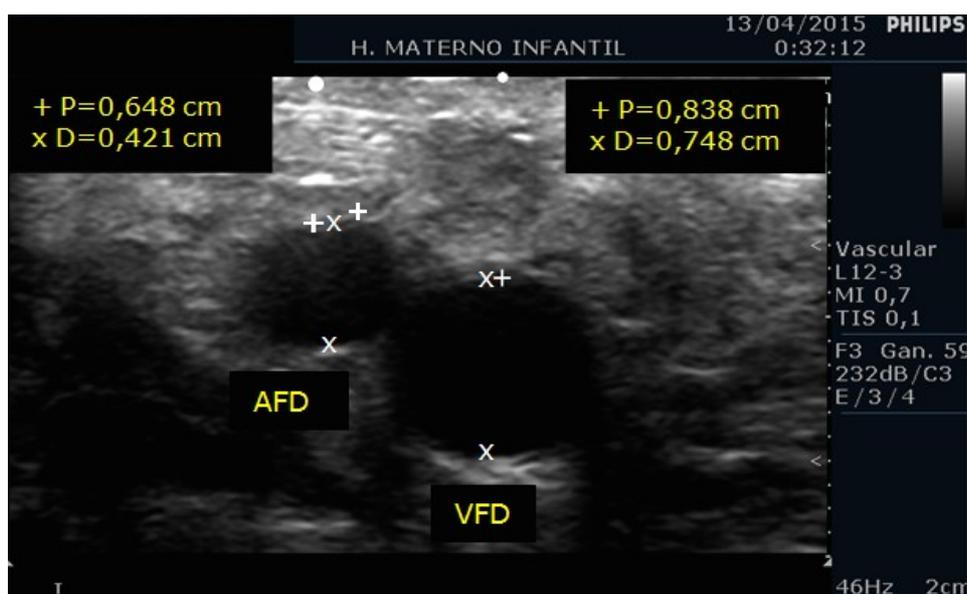


Figura 14: Medición de profundidad (P) y diámetro vascular (D) de AF y VF derechos (AFD y VFD) en una niña de 12 años de edad

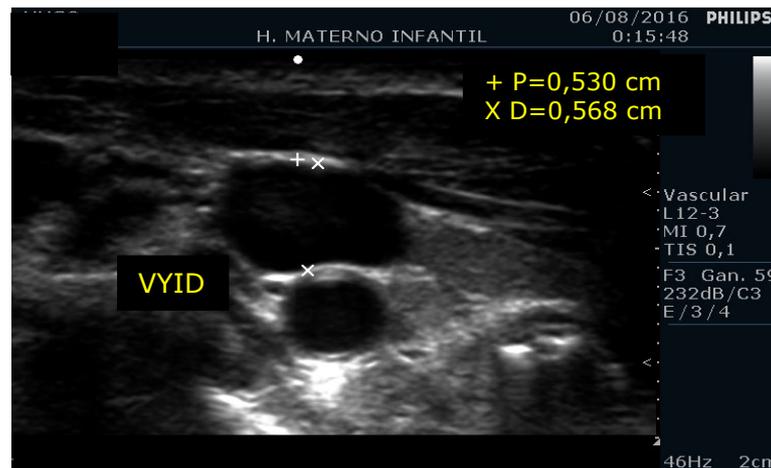


Figura 15: Medición de profundidad (P) y diámetro (D) vascular de la VYI derecha (VYID) en niño de 23 meses de edad

La medición de la VYI presenta dificultades en cuanto al diámetro o área a medir, al ser un vaso fácilmente colapsable, no mostrando siempre una imagen circular (Figura 16).

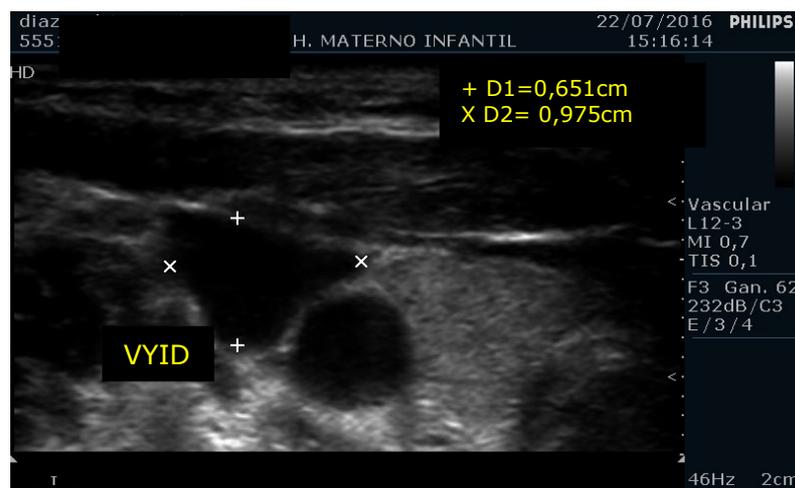


Figura 16: Medición de diámetros (D) vasculares de la VYI derecha (VYID) en un niño de 4 años de edad

La distribución de estas medidas en relación a edad, peso, talla y superficie corporal (divididos en 3 rangos), de los pacientes pediátricos se presenta en las Figuras 17-20.

La profundidad y el diámetro vascular aumentan en relación a la edad, peso, talla y superficie corporal.

En los rangos inferiores de estas variables, los tres vasos estudiados presentan una profundidad similar, estando ésta comprendida entre 0,6-0,7 cm. Sin embargo a medida que aumentamos la magnitud de estos rangos, los vasos femorales se sitúan a una mayor profundidad (1,1-1,2 cm), respecto a los vasos yugulares (0,9 cm). Las diferencias de profundidad fueron significativas en los tres rangos de edad, peso, talla y superficie corporal estudiados ($p < 0,001$).

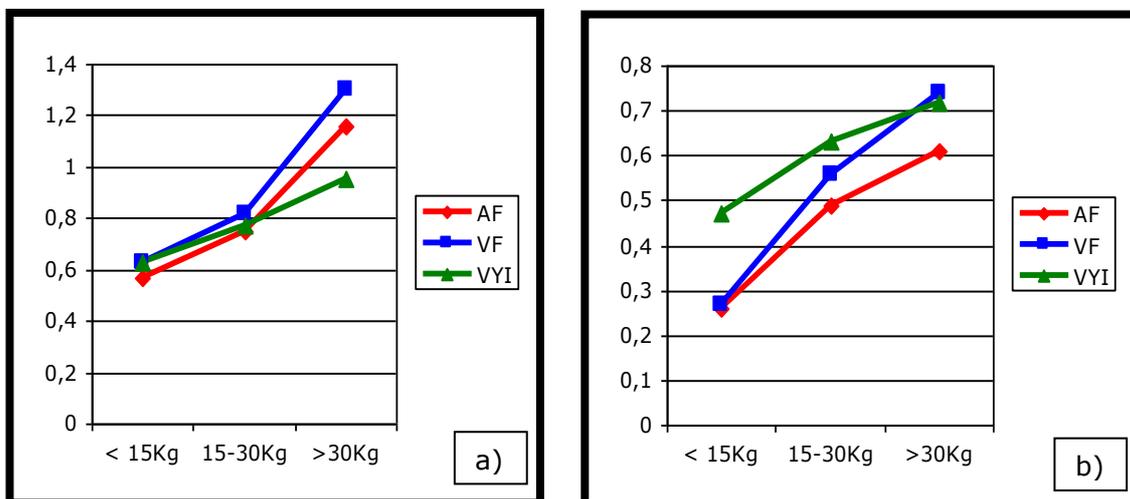


Figura 17: Profundidad (a) y diámetro (b) de los vasos centrales pediátricos (expresados en centímetros) según rangos de peso (expresados en kilogramos)

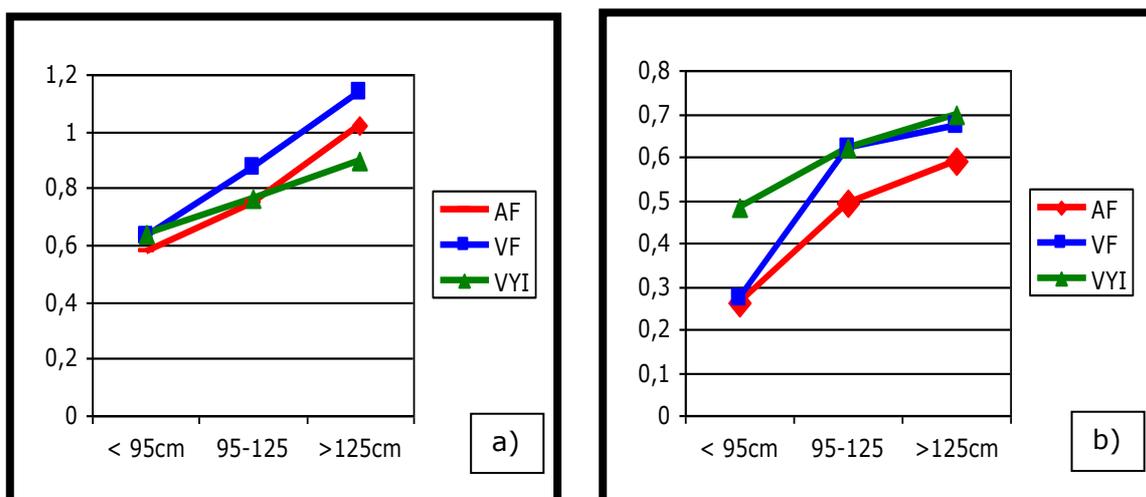


Figura 18: Profundidad (a) y Diámetro (b) de los vasos centrales pediátricos (expresados en centímetros) según rangos de talla (expresados en centímetros)

Los diámetros vasculares en los vasos yugulares, son mayores respecto a los vasos femorales (0,45-0,50 cm vs 0,25 cm), en los rangos inferiores de edad, peso, talla y superficie corporal. En los rangos superiores de estas variables, los diámetros se van igualando para la vena yugular interna y vasos femorales, con un valor medio de 0,6-0,7 cm.

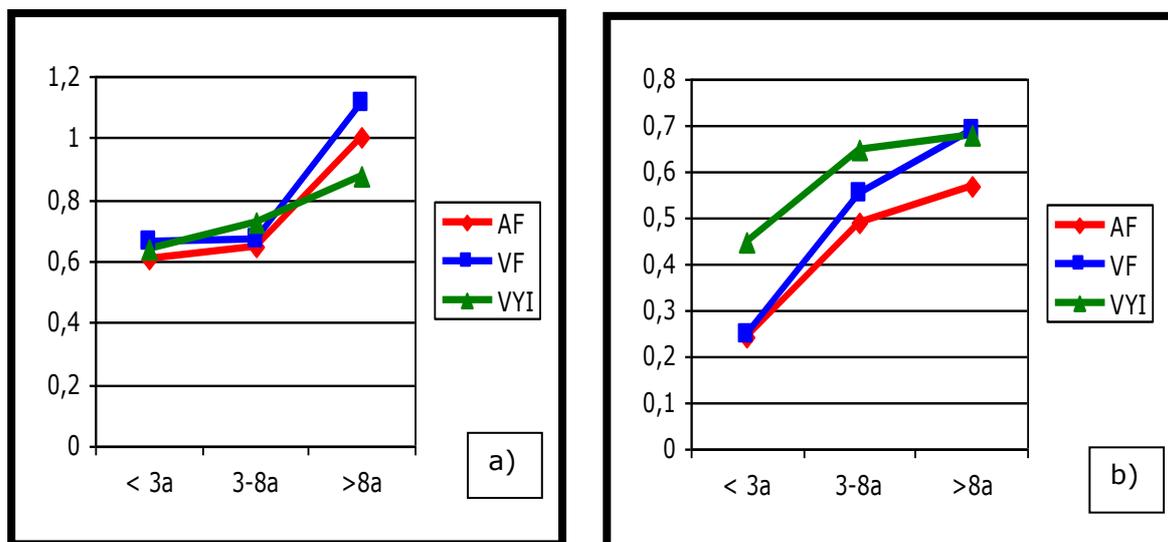


Figura 19: Profundidad (a) y Diámetro (b) de los vasos centrales pediátricos (expresados en centímetros) según rangos de edad (expresados en años)

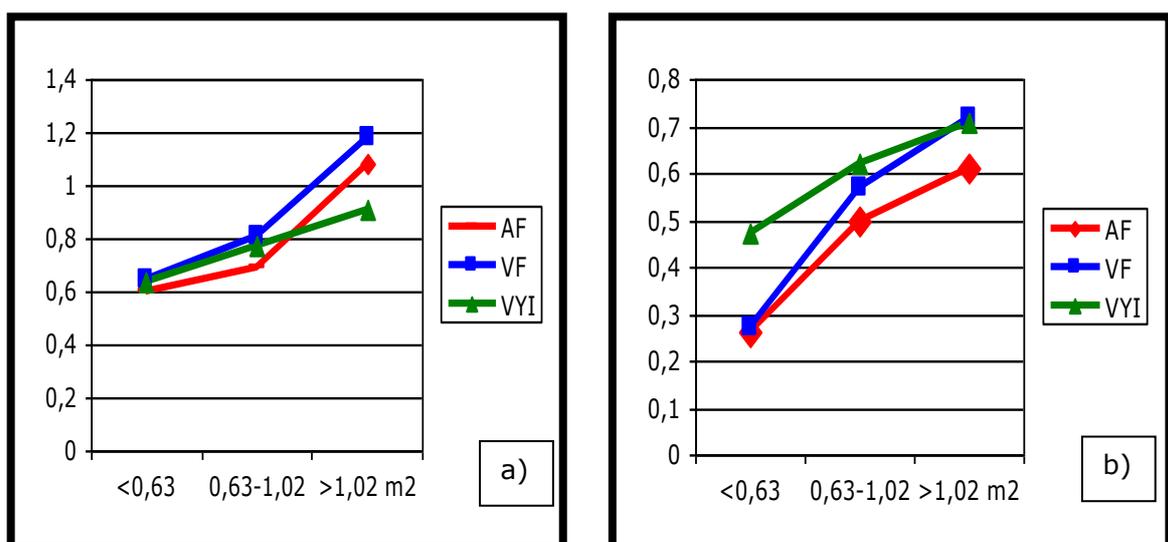


Figura 20: Profundidad (a) y Diámetro (b) de los vasos centrales pediátricos (expresados en cm) según rangos de SC (expresados en m²)

4.1.2.- Estimación de la profundidad y diámetro vascular en el paciente pediátrico

Analizados los factores demográficos y antropométricos se estableció una correlación para la estimación de la profundidad y diámetros de los vasos medidos.

4.1.2.1.- Variables asociadas con la profundidad vascular

Existió asociación significativa de la profundidad vascular de los principales vasos centrales estudiados con:

- La edad del paciente expresada en meses (m)
- La talla expresada en centímetros (cm)
- El peso expresado en kilogramos (Kg) y
- La SC expresada en metros cuadrados (m²).

El nivel de significación y el coeficiente de correlación R (Pearson) se presentan en la tabla 7.

	AF		VF		VYI	
	R	p	R	p	R	p
Edad	0,54	<0,001	0,57	<0,001	0,46	<0,001
Talla	0,49	<0,001	0,55	<0,001	0,51	<0,001
Peso	0,65	<0,001	0,68	<0,001	0,53	<0,001
SC	0,60	<0,001	0,64	<0,001	0,53	<0,001

Tabla 7: Correlación de las variables demográficas y antropométricas con la profundidad vascular en la población pediátrica estudiada

Los valores mayores del coeficiente de correlación se presentaron entre la profundidad de los vasos estudiados y el peso de los pacientes, como se muestra gráficamente en las Figuras 21-23. Esta correlación fue mayor respecto a la profundidad en que se ubican las VF en el paciente pediátrico.

La profundidad de las VYI presentó menores coeficientes de correlación respecto a las variables estudiadas.

No existió correlación entre la profundidad de los vasos estudiados y el sexo de los pacientes.

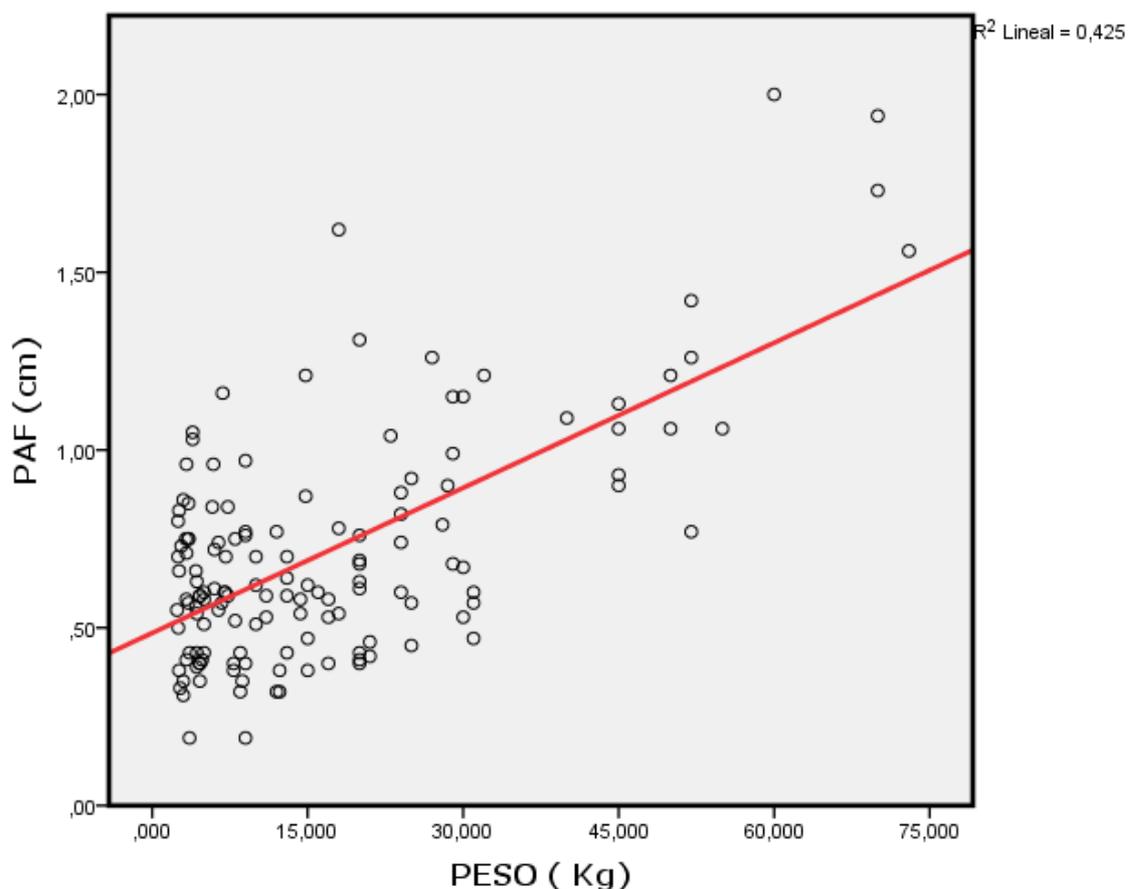


Figura 21: Correlación de la profundidad de la arteria femoral (PAF) en los pacientes pediátricos estudiados, en relación al peso de los mismos

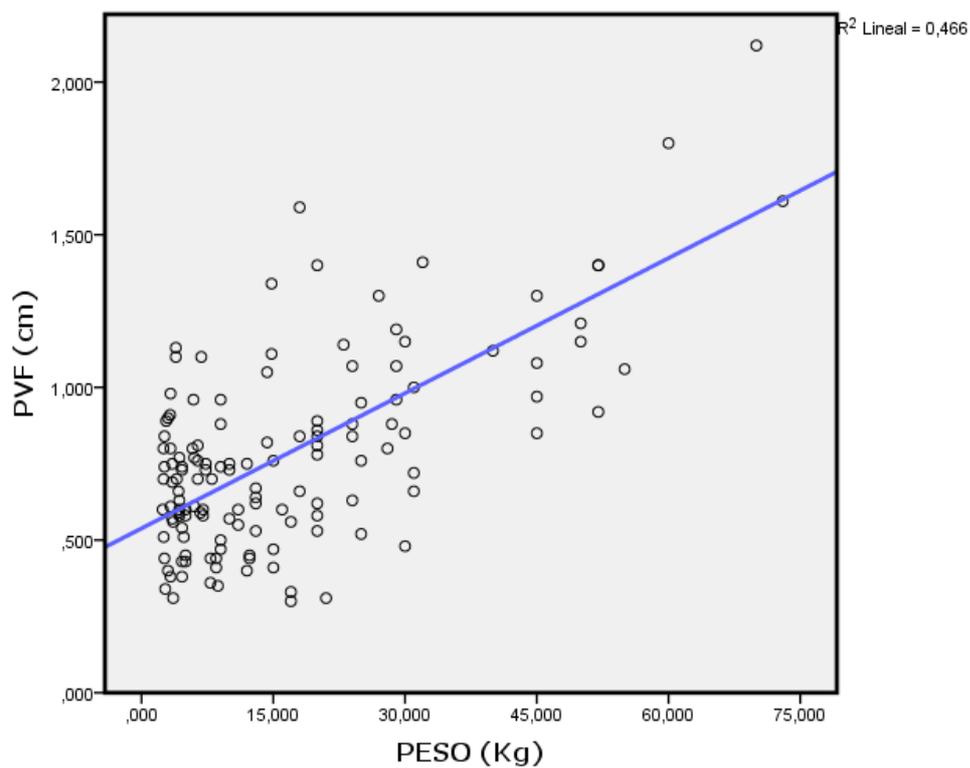


Figura 22: Correlación de la profundidad de la vena femoral (PVF) en los pacientes pediátricos estudiados, en relación al peso de los mismos

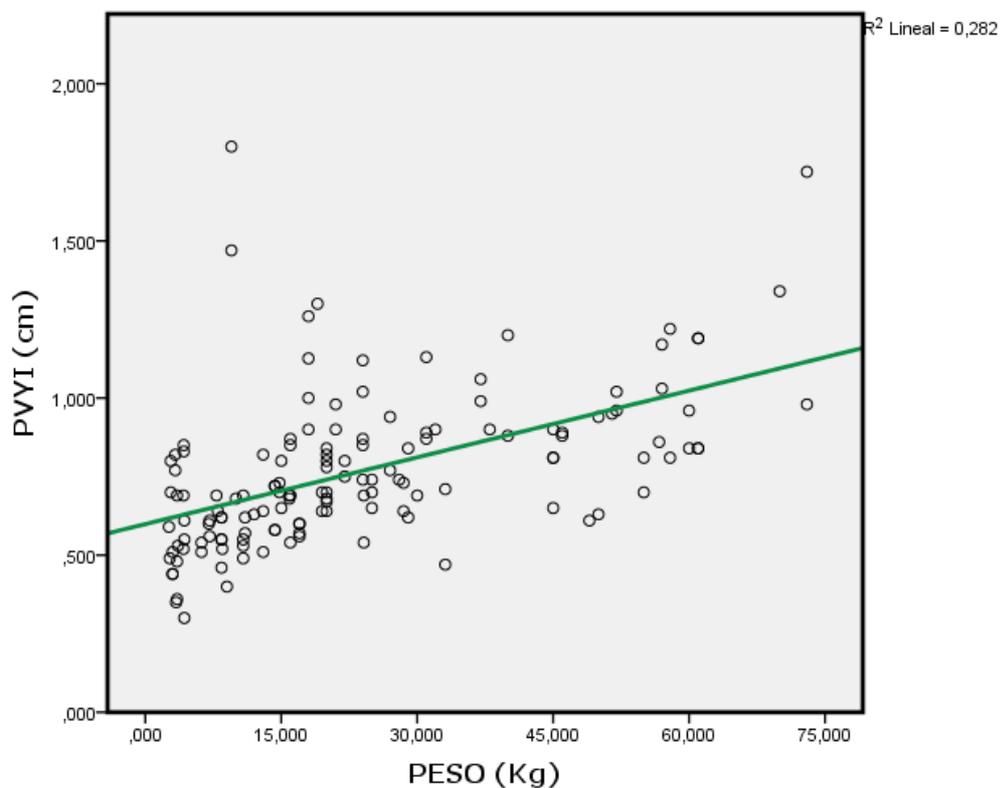


Figura 23: Correlación de la profundidad de la vena yugular interna (PVYI) en los pacientes pediátricos estudiados, en relación al peso de los mismos

En base a estas correlaciones, se realizó un análisis de regresión lineal múltiple para estudiar las variables que podrían estimar la profundidad a la que se encuentran los vasos centrales estudiados. Se analizaron dos modelos que incluyeron las variables anteriormente descritas:

- **Primer modelo:** Variables incluidas: Edad, talla, peso.
- **Segundo modelo:** Variables incluidas: Edad y SC.

El modelo que mejor estimó la PAF ($R=0,71$; $R^2=0,50$) y PVF ($R=0,72$; $R^2=0,52$) fue el primero, presentándose en las Tablas 8 y 9 sus coeficientes, significación e intervalos de confianza (IC) al 95%.

	β	p	IC al 95%	
Cte	0,804	<0,001	0,656	0,953
Peso (kg)	0,027	<0,001	0,021	0,034
Talla (cm)	-0,006	<0,001	-0,009	-0,004

Tabla 8: Modelo predictor de la profundidad de la arteria femoral (PAF) en la población pediátrica estudiada

	β	p	IC al 95%	
Cte	0,797	<0,001	0,642	0,952
Peso (kg)	0,026	<0,001	0,019	0,032
Talla (cm)	-0,005	<0,01	-0,008	-0,002

Tabla 9: Modelo predictor de la profundidad de la vena femoral (PVF) en la población pediátrica estudiada

Las ecuaciones resultantes para la predicción de la PAF y PVF en los pacientes pediátricos estudiados son:

$$PAF = 0,804 + 0,027 (\text{peso en Kg}) - 0,006 (\text{talla en cm})$$

$$PVF = 0,797 + 0,026 (\text{peso en Kg}) - 0,005 (\text{talla en cm})$$

La profundidad de los vasos venosos yugulares fue estimada mejor también por el modelo 1 ($R=0,53$; $R^2=0,28$), exponiendo sus coeficientes, significación e IC al 95% en la Tabla 10.

	β	p	IC al 95%	
Cte	0,594	<0,001	0,542	0,656
Peso (kg)	0,007	<0,001	0,005	0,009

Tabla 10: Modelo predictor de la profundidad de la vena yugular interna (PVYI) en la población pediátrica estudiada

La ecuación resultante para la predicción de la PVYI en los pacientes pediátricos estudiados es:

$$PVYI = 0,594 + 0,007 (\text{peso en Kg})$$

4.1.2.2.- Variables asociadas al diámetro vascular

Existió asociación significativa del diámetro vascular de los principales vasos centrales estudiados con:

- La edad del paciente expresada en meses (m)
- La altura expresada en centímetros (cm)
- El peso expresado en kilogramos (Kg) y
- La SC expresada en metros cuadrados (m²).

El nivel de significación y el coeficiente de correlación R (Pearson) se presentan en la siguiente tabla 11.

	Arteria Femoral		Vena Femoral		Vena Yugular Interna	
	R	p	R	p	R	p
Edad (m)	0,84	<0,001	0,81	<0,001	0,42	<0,001
Talla (cm)	0,89	<0,001	0,86	<0,001	0,51	<0,001
Peso (Kg)	0,83	<0,001	0,81	<0,001	0,44	<0,001
SC (m ²)	0,88	<0,001	0,85	<0,001	0,48	<0,001

Tabla 11: Correlación de las variables demográficas y antropométricas con el diámetro vascular en la población pediátrica estudiada.

El modelo 1 predijo con mayor exactitud el diámetro medio de la AF (R=0,89; R²=0,79) y VF (R=0,86; R²=0,74) en los pacientes pediátricos estudiados (Tabla 12 y 13).

	β	P	IC al 95%	
Cte	-0,002	0,954	-0,073	0,069
Talla (cm)	0,004	<0,001	0,003	0,006

Tabla 12: Modelo predictor del diámetro vascular de la arteria femoral (DAF) en la población pediátrica estudiada

	β	P	IC al 95%	
Cte	-0,026	0,296	-0,074	0,023
Talla (cm)	0,005	<0,001	0,005	0,006

Tabla 13: Modelo predictor del diámetro vascular de la vena femoral (DVF) en la población pediátrica estudiada

Expresando así sus ecuaciones de predicción (Figura 24-26):

$$DAF = 0,004 \text{ (Talla en cm)}$$

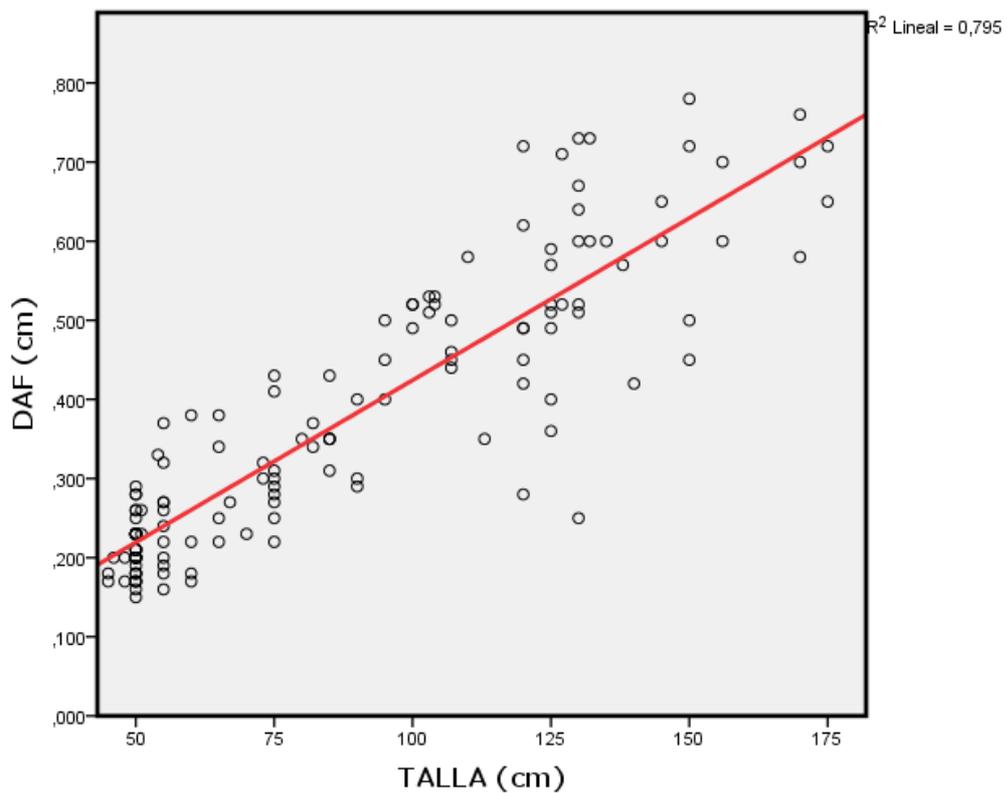


Figura 24: Correlación del diámetro de la arteria femoral (DAF) y la talla en los pacientes pediátricos estudiados

$$DVF = 0,005 \text{ (Talla en cm)}$$

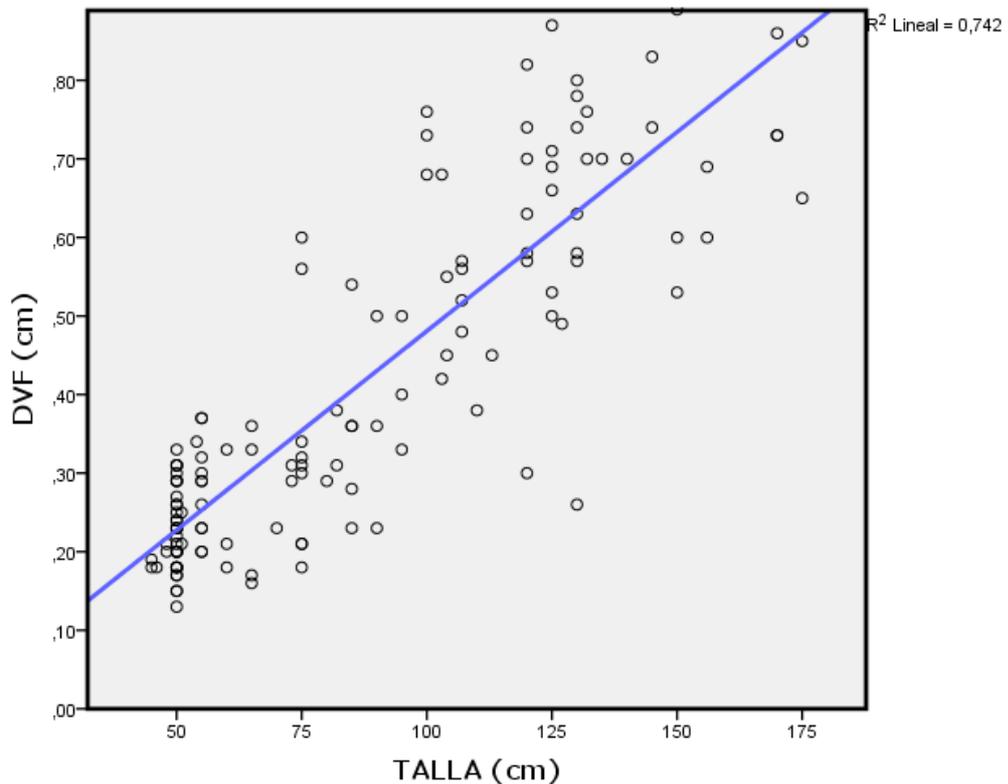


Figura 25: Correlación del diámetro de la vena femoral (DVF) y la talla en los pacientes pediátricos estudiados

El diámetro de la VVI fue estimado en base al modelo 1 ($R=0,52$; $R^2=0,27$), presentándose en la Tabla 14 sus coeficientes, significación e IC al 95%.

	β	P	IC al 95%	
Cte	0,177	<0,05	0,031	0,323
Talla (cm)	0,005	<0,001	0,003	0,007

Tabla 14: Modelo predictor del diámetro vascular de la vena yugular interna (VVI) en la población pediátrica estudiada

La ecuación resultante para la predicción del diámetro de la VVI en los pacientes pediátricos estudiados es:

$$DVY = 0,177 + 0,005 (Talla \text{ en cm})$$

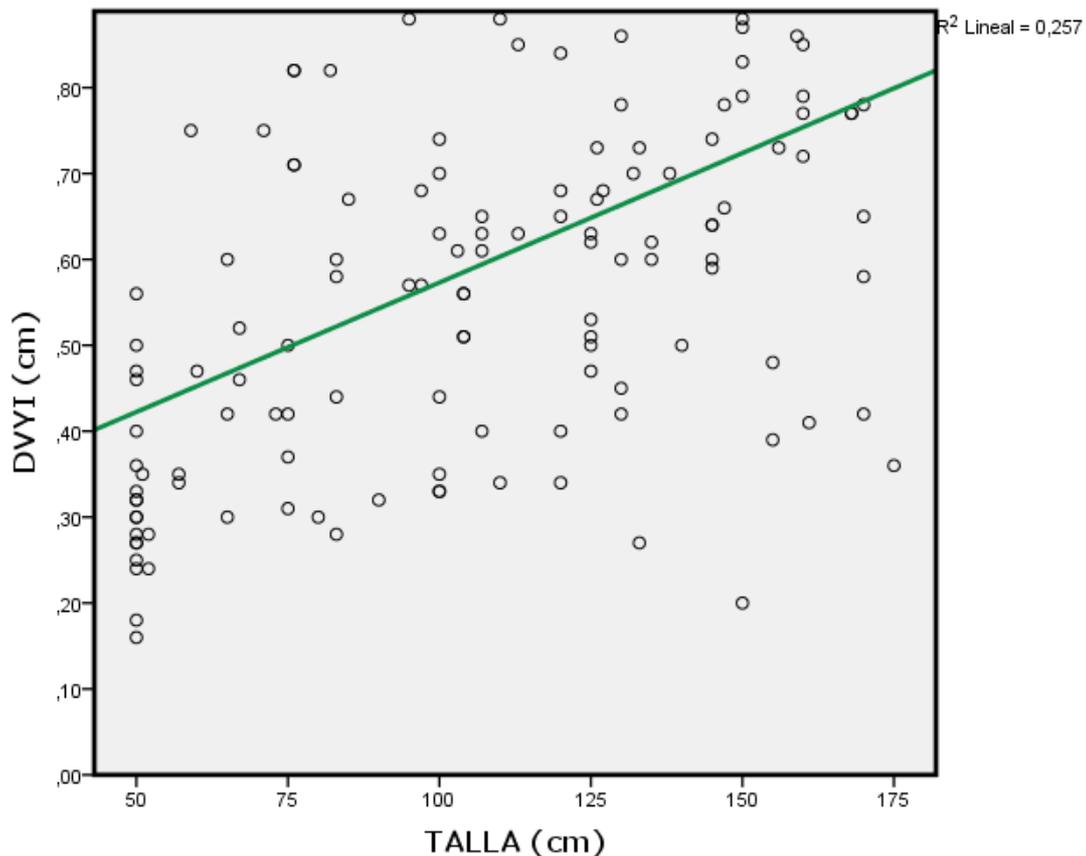


Figura 26: Correlación del diámetro de la vena yugular interna (DVVI) y la talla en los pacientes pediátricos estudiados

De estos resultados podemos concluir que, en los pacientes pediátricos estudiados, la estimación de la profundidad ($R=0,72$) y diámetro vascular ($R=0,89$) es mayor a nivel de los vasos femorales respecto a la estimación de profundidad ($R=0,53$) y diámetro ($R=0,52$) de los vasos yugulares internos.

La distribución de los tres vasos estudiados según los rangos de profundidad y diámetro vascular establecidos se presenta en las siguientes figuras, destacando que los vasos femorales y yugulares mayoritariamente quedan englobados en el rango de profundidad menor o P1 (Figura 27). A nivel de diámetro vascular, si existen diferencias quedando incluidos los vasos femorales en el diámetro

menor o D3 mayoritariamente, mientras que los vasos yugulares lo hacen en el diámetro mayor o D1 (Figura 28).

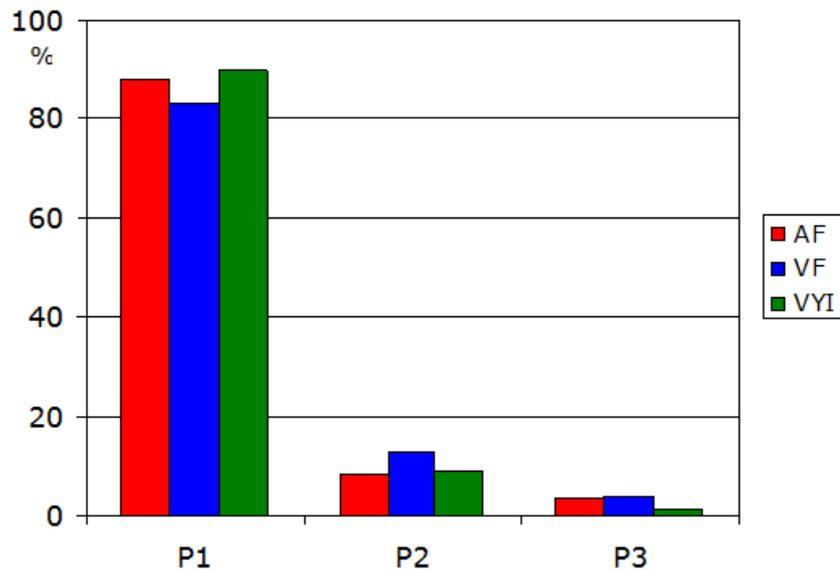


Figura 27: Distribución porcentual de los vasos estudiados según los tres rangos de profundidad considerados

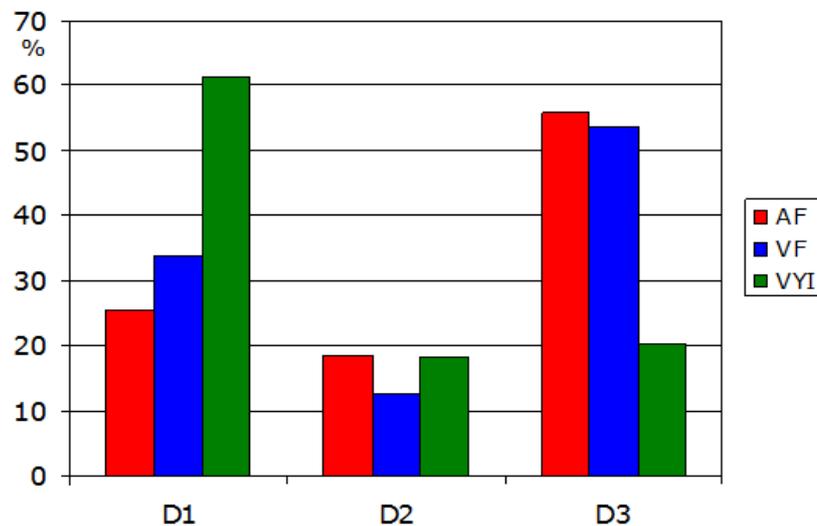


Figura 28: Distribución porcentual de los vasos estudiados según los tres rangos de diámetro considerados

Las asociaciones más frecuentes de profundidad y diámetro vascular en los pacientes pediátricos estudiados, en relación a los 3 rangos establecidos se presentan en la Figura 29.

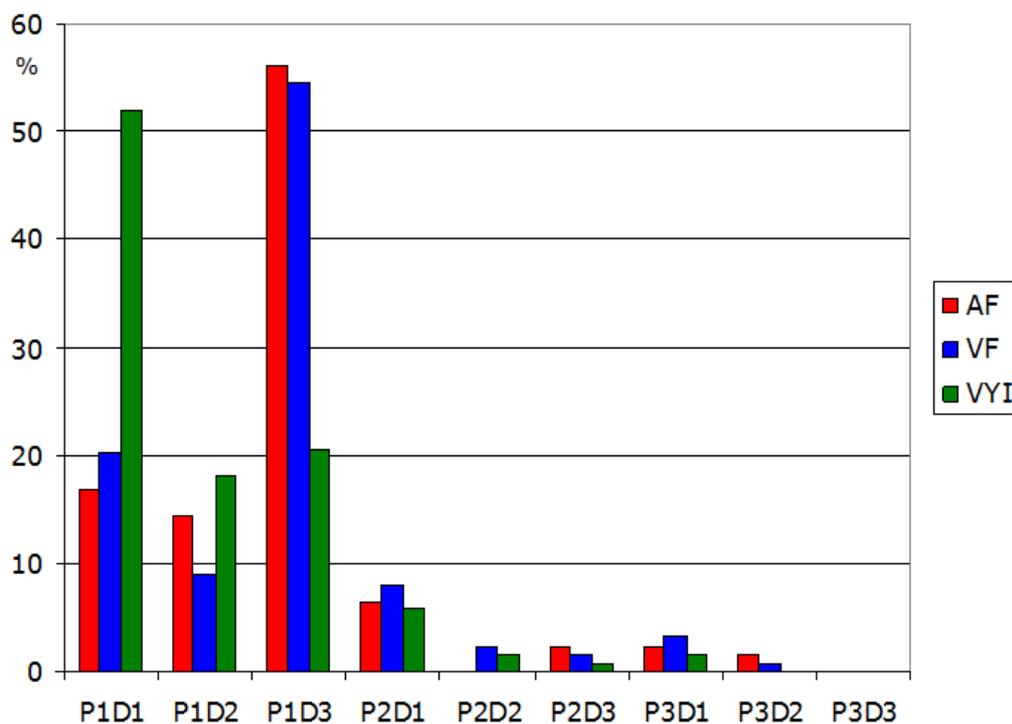


Figura 29: Distribución global de los tres vasos estudiados según los rangos de profundidad y diámetro vascular considerados

En los pacientes estudiados, a nivel descriptivo, se localizaron y midieron también otros vasos menos frecuentemente canalizados en el paciente pediátrico, presentando en la Tabla 15 y 16, sus medidas de profundidad (P) y diámetro vascular (D).

	N	P/D	Mínimo	Máximo	Media	DE
Vena Basílica	44	P	0,20	1,34	0,55	0,26
		D	0,17	0,62	0,32	0,1
Vena Axilar	19	P	0,13	1,06	0,45	0,26
		D	0,11	0,49	0,24	0,09
Vena Braquial	14	P	0,12	0,96	0,32	0,2
		D	0,13	0,4	0,25	0,07

Tabla 15: Localización y medición ecográfica expresada en cm, de otros vasos venosos de relevancia en el paciente pediátrico (P: Profundidad; D: Diámetro)

	N	P/D	Mínimo	Máximo	Media	DE
Arteria	19	P	0,14	1,23	0,44	0,28
Axilar		D	0,13	0,27	0,2	0,05
Arteria	14	P	0,19	0,94	0,39	0,22
Braquial		D	0,15	0,26	0,22	0,03
Arteria	4	P	0,17	0,38	0,26	0,09
Radial		D	0,11	0,19	0,14	0,04

Tabla 16: Localización y medición ecográfica expresada en cm, de otros vasos arteriales de relevancia en el paciente pediátrico (P: Profundidad; D: Diámetro)

En base a las medidas registradas y estimaciones realizadas se diseñó un modelo de entrenamiento para la CVE.

4.2.- DISEÑO DE UN MODELO DE ENTRENAMIENTO PARA LA CANALIZACIÓN VASCULAR ECOGUIADA

Se realizaron diversas pruebas en modelos de entrenamiento comerciales y artesanales. Los primeros fundamentalmente consistían en moldes de silicona con estructuras tubulares en su interior y los segundos fueron variados, probándose como: **a) Estructura muscular:** Moldes de: gelatina, gelatina y mucílago, silicona, látex, porción de embutido y **b) Estructura vascular:** Sondas urinarias o gástricas (Foley[®]), drenajes torácicos (Argylle[®]), drenajes quirúrgicos (Penrose), agujas metálicas tipo punzón, vías centrales de 7Fr, etc. Los materiales de los mismos fueron variados: silicona, látex, poliuretano, Teflon[®], Goretex[®], metal, etc. (Figura 30)



Figura 30: Visión ecográfica en el modelo de Gelatina-Mucílago de dos estructuras vasculares en el eje transverso

Estos modelos finalmente fueron rechazados por presentar distintos inconvenientes relacionados con la menor fidelidad o semejanza con la CVE en el paciente "in vivo" (Figura 31), destacando los siguientes:

- No reproducen fielmente la textura de tejido humano
- Trayecto de la aguja marcado tras las punciones
- Imagen muscular y vascular poco real
- Fácilmente dañable
- Limitación del número de punciones



Figura 31: Visión ecográfica de la aguja de punción en el eje longitudinal en plano (EL-EP) en el modelo de Gelatina- Mucílago

Tras realizar estos ensayos se consiguió un diseño para la CVE en el que se minimizaban estos inconvenientes y que se presenta a continuación.

El modelo de entrenamiento diseñado consta de:

- **Componente Muscular:** Porción de músculo pectoral aviar de unas medidas aproximadas (largo, ancho, alto) de: 10 cm x 10 cm x 3 cm que se puede adquirir en cualquier tienda de comestibles (Figura 32).



Figura 32: Medidas del componente muscular del modelo de entrenamiento

- **Componente Vascular:** Estructura tubular (globo de modelaje) de material elástico (látex de caucho natural biodegradable) de distintos colores (obtenidos con pigmentos orgánicos) de 27 cm de longitud y 0,7 cm de diámetro que se conecta a una jeringa de conexión luer-lock de 20 cc y se rellena con 8 ml de agua con colorante hidrosoluble, sellando posteriormente ambos extremos mediante un nudo. El llenado

se puede realizar también con un dosificador, aunque puede ser menos exacto el volumen a introducir en el interior de la estructura tubular (Figura 33). Es importante extraer el aire que puede quedar en el interior de la estructura tubular colocando ésta en posición vertical realizando una suave presión sobre la misma para que el exceso de aire se elimine, ya que este puede interferir en la visualización ecográfica.

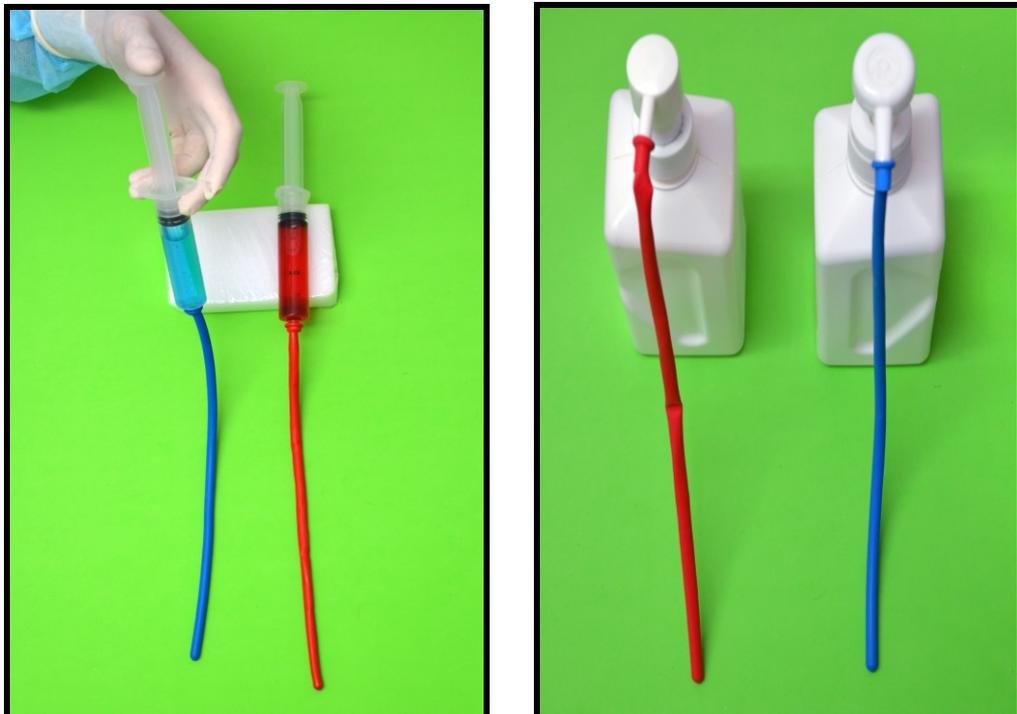


Figura 33: Llenado de la estructura vascular con colorante hidrosoluble, mediante jeringa (izda) o mediante dosificador (drcha)

Posteriormente la longitud inicial se divide por la mitad realizando un nudo en la misma, quedando 2 estructuras tubulares de aproximadamente 12 cm de longitud y 3 zonas de anudamiento (proximal, distal, y media) de aproximadamente 1 cm de longitud cada una (Figura 34).



Figura 34: Estructura vascular inicial de 27 cm (izda) dividida en dos porciones de aproximadamente 12 cm de longitud cada una (drcha)

Ambos componentes simulan la estructura muscular y vascular del paciente pediátrico que se presenta en la Figura 35, junto al resto de componentes del modelo de simulación.

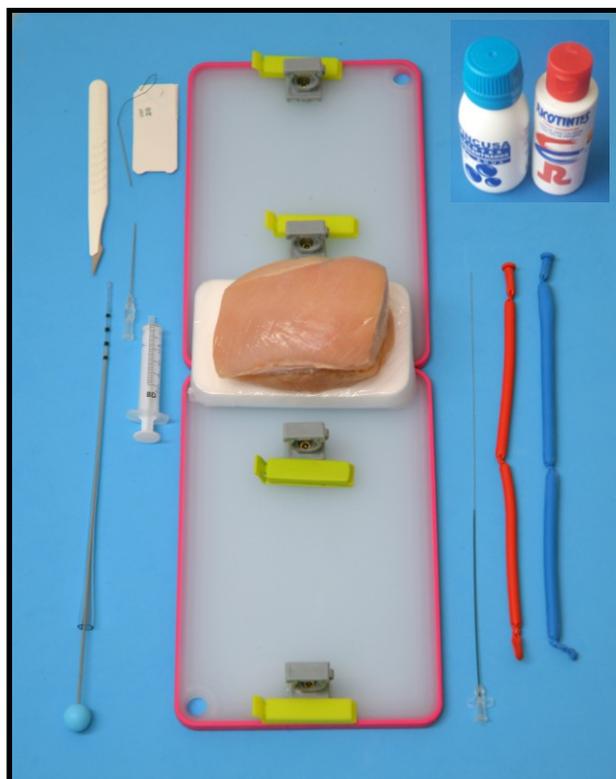


Figura 35.- Componentes del modelo de entrenamiento para la CVE

El desarrollo del modelo se fundamenta en introducir un drenaje torácico de 8 Fr junto a su trocar de punción atravesando longitudinalmente la porción muscular (Figura 36) a diferentes niveles de profundidad asemejando las distintas profundidades a la que se encuentran los vasos en los niños según edad, talla y peso.

A continuación se retira el trocar quedando el tubo de drenaje en el interior de la estructura muscular. En la porción distal del drenaje se sutura el extremo proximal de la estructura tubular elástica pasada la zona del nudo, evitando así la punción de la estructura tubular y la pérdida del contenido líquido de su interior suturándose al extremo distal de la estructura vascular distal al nudo (Figura 36).

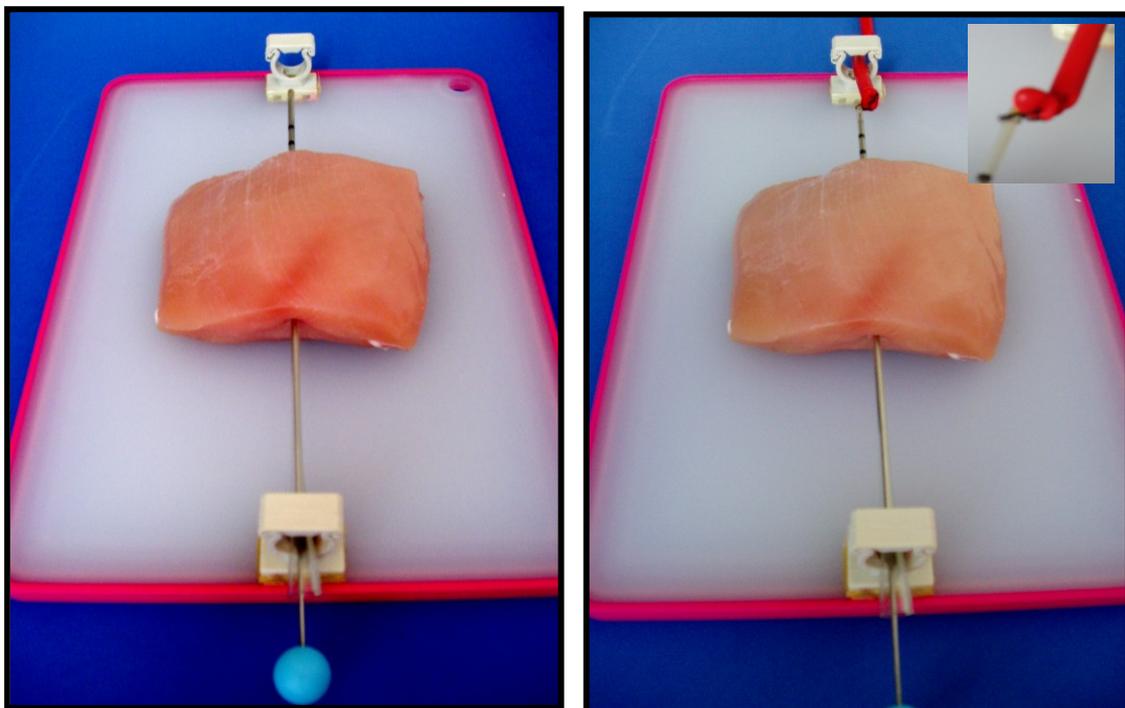


Figura 36: Izda: Trocar de punción atravesando longitudinalmente la porción muscular del modelo; **Dcha:** Sutura del drenaje al extremo de la estructura vascular distal al nudo realizado (detalle ángulo superior)

Al traccionar del drenaje y la estructura tubular en sentido opuesto, ésta quedaría insertada dentro de la estructura muscular simulando la estructura vascular que intentaremos visualizar y canalizar de forma ecoguiada en el modelo experimental (Figura 37).

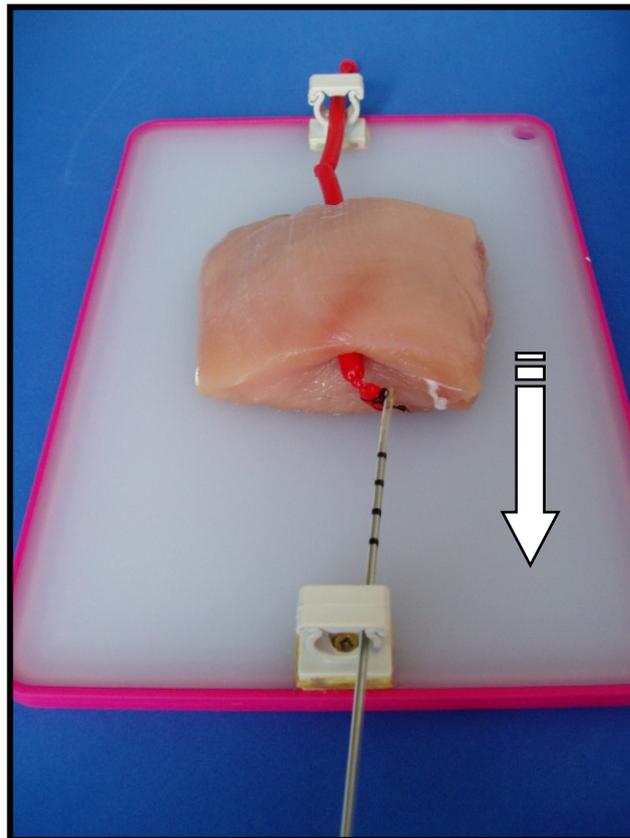


Figura 37: Ubicación en el interior de la estructura muscular de la estructura vascular, tras traccionar del drenaje suturado a ella

Para mantener la fijación de la estructura vascular a la muscular como ocurre en los pacientes pediátricos debido a los tejidos que rodean al sistema vascular, se utilizará un sistema de clamps que se aclararán a unos soportes (Figura 38).

Según la tensión aplicada sobre la estructura elástica mediante el sistema de clamps fijados a distinta longitud, conseguimos tres

rangos de diámetros diferentes, equiparables a los diámetros de los vasos de los pacientes pediátricos obteniendo así diferentes niveles de dificultad para la CVE (Figura 38).

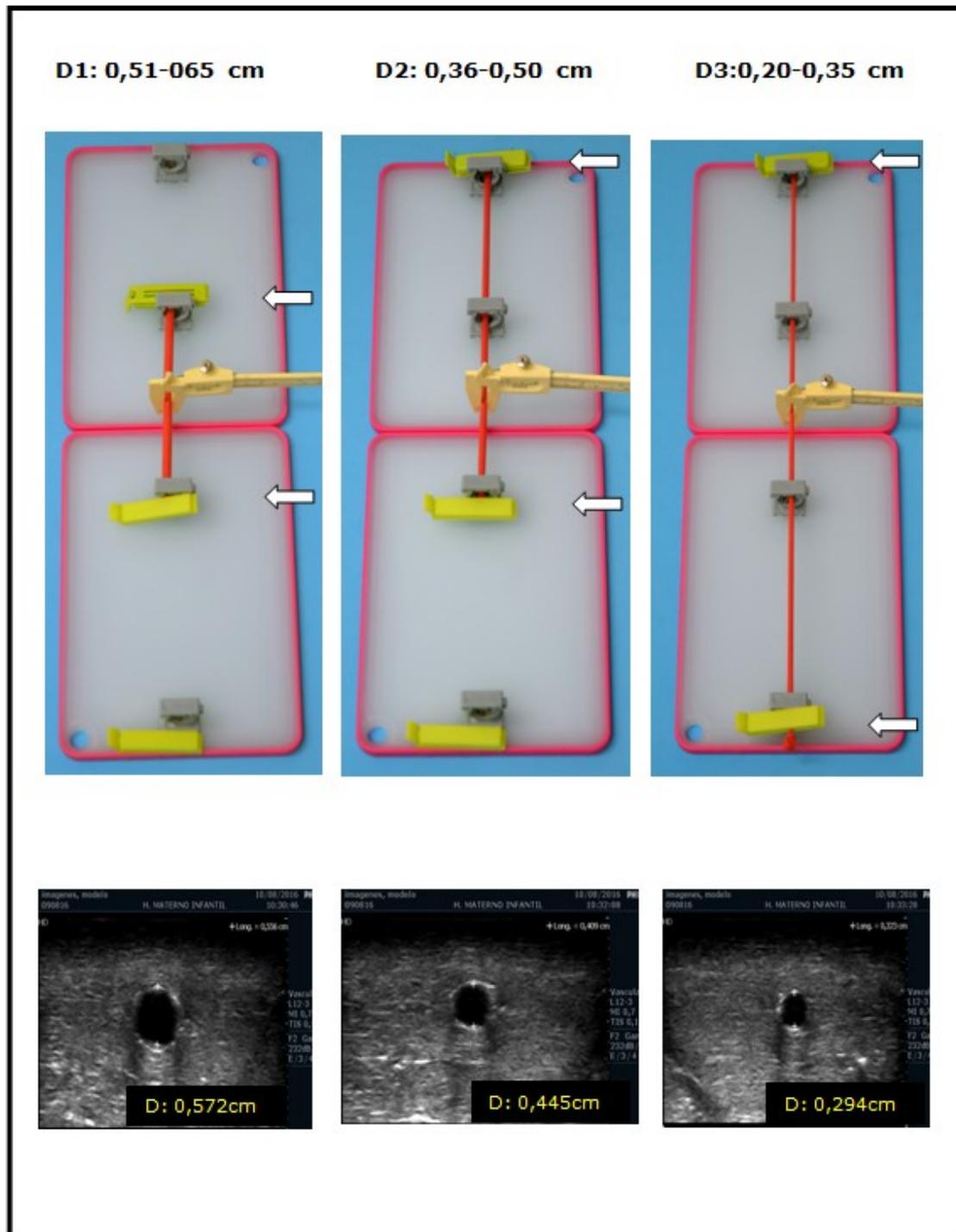


Figura 38: Diámetros vasculares (D1-D3) según el grado de estiramiento de la estructura elástica con los clamps (flechas) y su representación ecográfica

Los distintos rangos de profundidad de la estructura vascular se consiguen introduciendo el trocar en la estructura muscular a distintos niveles de profundidad (Figura 39).

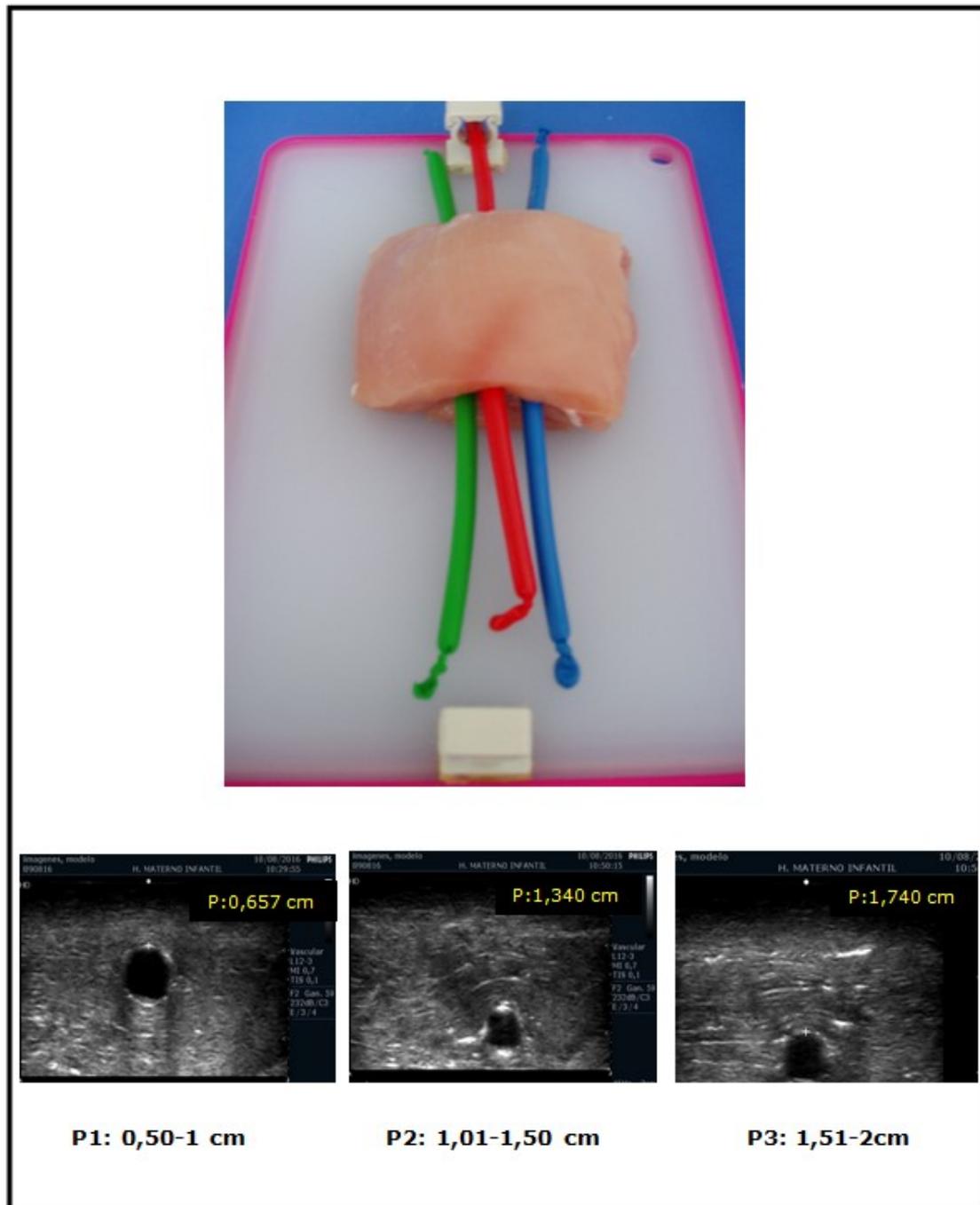


Figura 39: Profundidades vasculares (P1-P3) según el nivel de profundidad a la que se introduce la estructura vascular desde la superficie de la estructura muscular

Para la punción y canalización utilizaremos una aguja de 55 mm de longitud y una guía radiopaca de 30 cm, de un catéter de calibre 3 Fr y 11 cm de longitud (Figura 35). La visión de la estructura muscular del modelo se asemeja a la visión “*in vivo*” de la región femoral o yugular del paciente pediátrico (Figura 40).

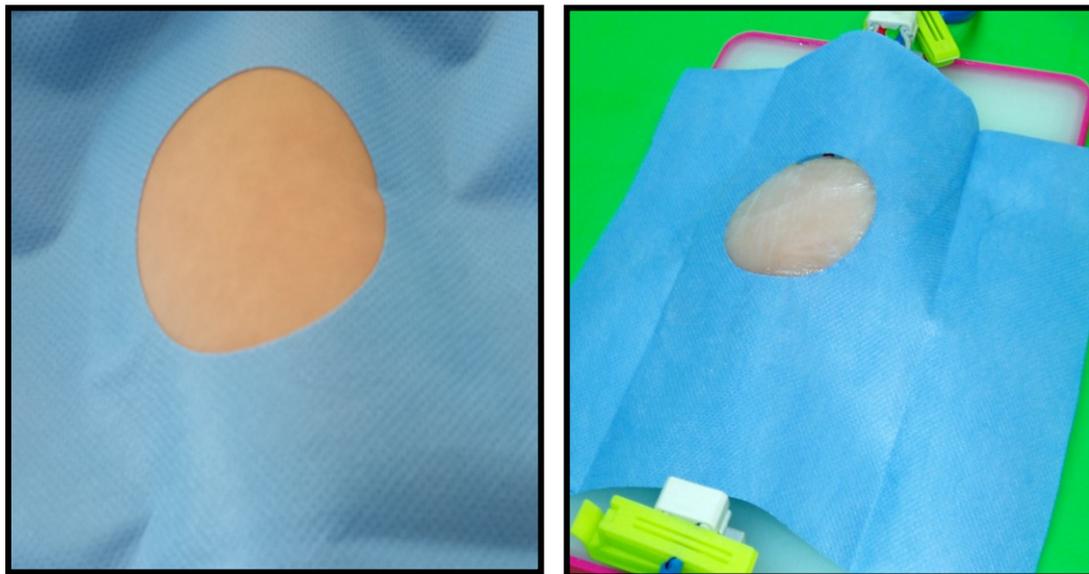


Figura 40: Drcha: Visión “*in vivo*” de la región femoral de un lactante de 5 meses;
Izda: Visión de la estructura muscular en el modelo diseñado

El tiempo de montaje del modelo es de aproximadamente 10 minutos.

El coste del modelo es de alrededor de 3 €, permitiendo, la unión de múltiples estructuras tubulares, la realización de más de 100 punciones sin deterioro del modelo.

Mediante la utilización de un ecógrafo con una sonda lineal, seleccionando la “configuración vascular”, con una profundidad de 3 cm podemos visualizar la estructura vascular en el modelo de

entrenamiento y su correlación con la imagen real "*in vivo*" en el paciente (Figura 41)

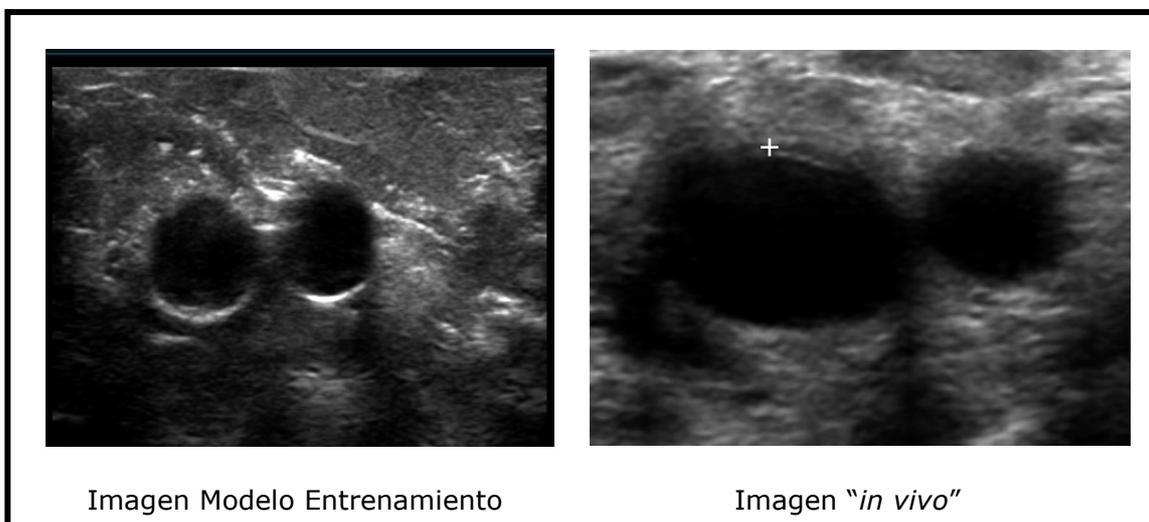


Figura 41: Imagen en el modelo diseñado, respecto a la imagen real "*in vivo*"

En el extremo distal de la estructura vascular se pueden ir anudando sucesivamente mas estructuras vasculares para poder realizar la técnica de CVE de forma indefinida (Figura 42).



Figura 42: Estructuras vasculares unidas mediante un nudo, permitiendo así, la utilización del modelo para múltiples punciones

La tensión aplicada sobre la estructura elástica mediante un sistema de fijación y clamps con distinto grado de separación de los mismos permitió establecer tres rangos de diámetros diferentes, equiparables a los diámetros de los vasos de los pacientes pediátricos obteniendo así diferentes niveles de dificultad para la CVE.

Se realizó una serie de 10 mediciones del diámetro de la estructura tubular insertada en la estructura muscular, según el grado de estiramiento realizado sobre los sus extremos (Tabla 16). Esto permitirá situar los puntos de fijación de los clamps, para poder simular los diámetros a estudiar (Figura 43).

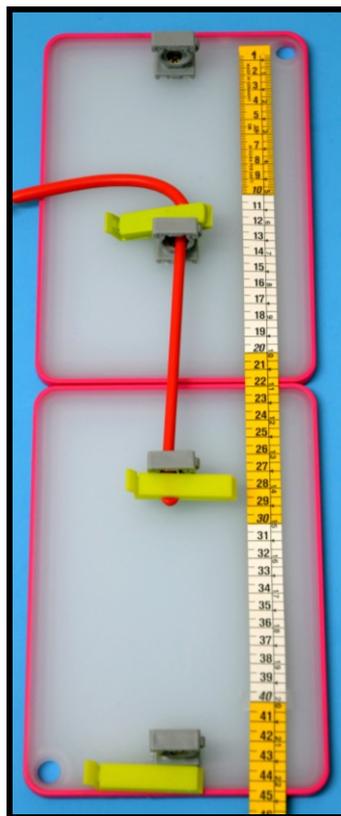


Figura 43: Distancia de separación de los soportes de fijación y clamps de la estructura vascular para conseguir los rangos de diámetro vascular analizados.

La distancia de separación de los soportes de fijación y los clamps en la estructura tubular (Tabla 17) fue:

- **15 cm para el rango D1** o mayor diámetro vascular (0,51-0,65 cm; media:0,580 cm), es decir un estiramiento de la estructura tubular de 3 cm.
- **27 cm para el rango D2** o diámetro vascular intermedio (0,36-0,50 cm; media: 0,430), lo que supone un estiramiento de la estructura tubular de 15 cm.
- **42 cm para el rango D3** o menor diámetro vascular (0,20-0,35 cm; media: 0,275), siendo preciso para ello un estiramiento de la estructura tubular de 30 cm.

Longitud Estructura Tubular (cm)	Estiramiento Estructura Tubular (cm)	N	Mínimo	Máximo	Media	DE
12	0	10	0,620	0,661	0,643	0,014
13	1	10	0,593	0,645	0,614	0,019
15	3	10	0,570	0,614	0,580	0,016
17	5	10	0,529	0,596	0,549	0,021
19	7	10	0,510	0,571	0,525	0,019
21	9	10	0,470	0,529	0,490	0,020
23	11	10	0,440	0,504	0,465	0,021
25	13	10	0,430	0,477	0,448	0,014
27	15	10	0,420	0,458	0,429	0,011
29	17	10	0,400	0,433	0,407	0,010
31	19	10	0,370	0,406	0,380	0,010
33	21	10	0,350	0,388	0,361	0,011
35	23	10	0,320	0,369	0,336	0,013
37	25	10	0,310	0,335	0,316	0,008
39	27	10	0,290	0,313	0,300	0,006
41	29	10	0,270	0,294	0,282	0,007
43	31	10	0,261	0,278	0,272	0,005
45	33	10	0,249	0,259	0,252	0,003

Tabla 17: Medida de la estructura tubular y grado de estiramiento necesario para conseguir los tres rangos de diámetro utilizados en el modelo (celdas sombreadas)

Así mismo se estableció la correlación entre el grado de estiramiento o longitud alcanzada por la estructura tubular (partiendo de una estructura tubular de 12 cm de longitud) y el diámetro esperado de la misma (Tablas 18 y 19).

	β	p	IC al 95%	
Cte	0,610	<0,001	0,605	0,615
Estiramiento (cm)	-0,011	<0,001	-0,012	-0,011

Tabla 18: Modelo predictor del diámetro de la estructura vascular en relación al estiramiento de la misma

	β	p	IC al 95%	
Cte	0,748	<0,001	0,739	0,756
Longitud (cm)	-0,011	<0,001	-0,012	-0,011

Tabla 19: Modelo predictor del diámetro de la estructura vascular en relación a la longitud de la misma

El coeficiente de correlación R fue de 0,987 ($R^2= 0,974$), presentándose en la Figura 44 el gráfico estimación de diámetro de la estructura vascular. Se exponen a continuación las ecuaciones predictoras del diámetro de la estructura vascular:

Diámetro estructura vascular= 0,610 – 0,011 (estiramiento de la estructura tubular en cm)

Diámetro estructura vascular= 0,748 – 0,011 (longitud de la estructura tubular en cm)

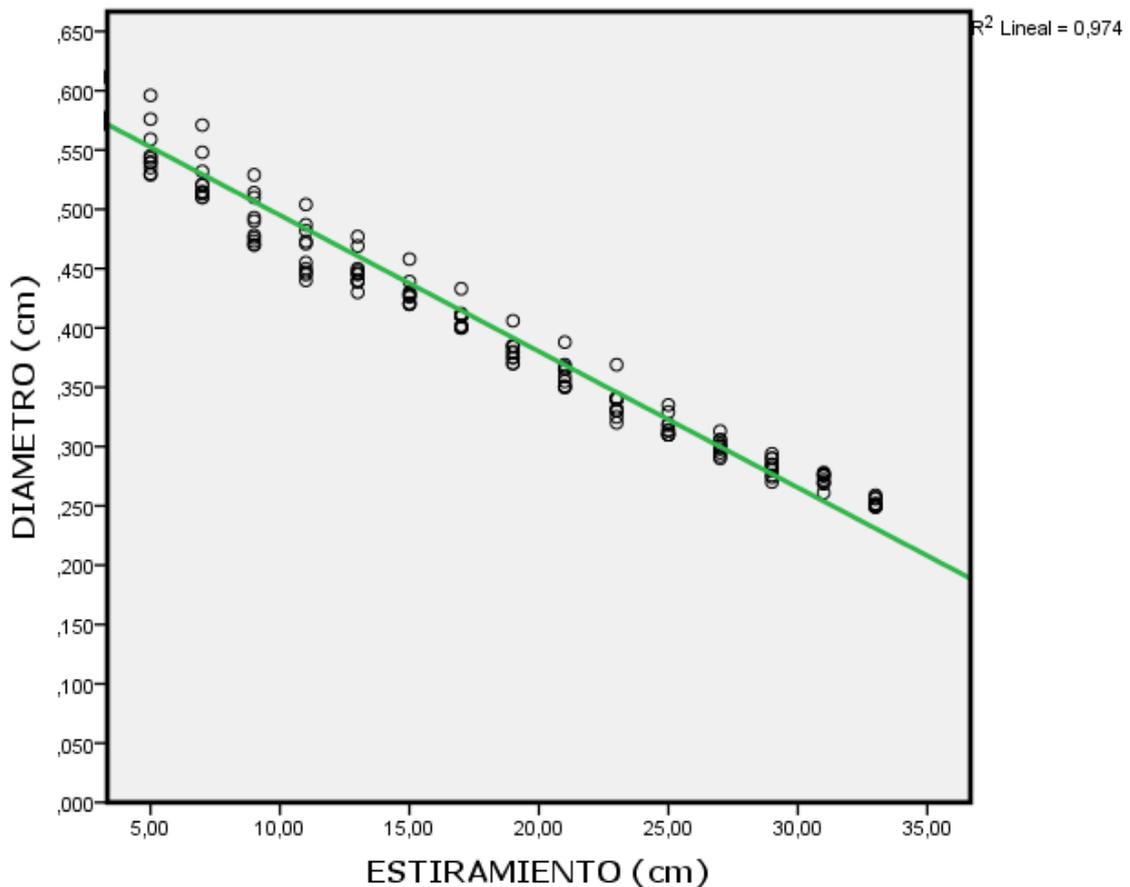


Figura 44: Correlación del diámetro de la estructura vascular y el estiramiento de la misma

Tras la visualización vascular se realiza la medición de la profundidad y diámetro de la estructura tubular elástica que asemeja al vaso del paciente pediátrico (Figuras 38 y 39). Se pueden visualizar ecográficamente los 3 rangos de profundidad y 3 rangos de diámetro, en base a resultados preliminares de las mediciones “*in vivo*” de profundidad y diámetro de los vasos centrales más habituales en los pacientes pediátricos de diferentes peso y tamaño referenciados previamente

La imagen ecográfica del modelo, en los tres ejes de visualización más comunes se presenta en la Figura 45.

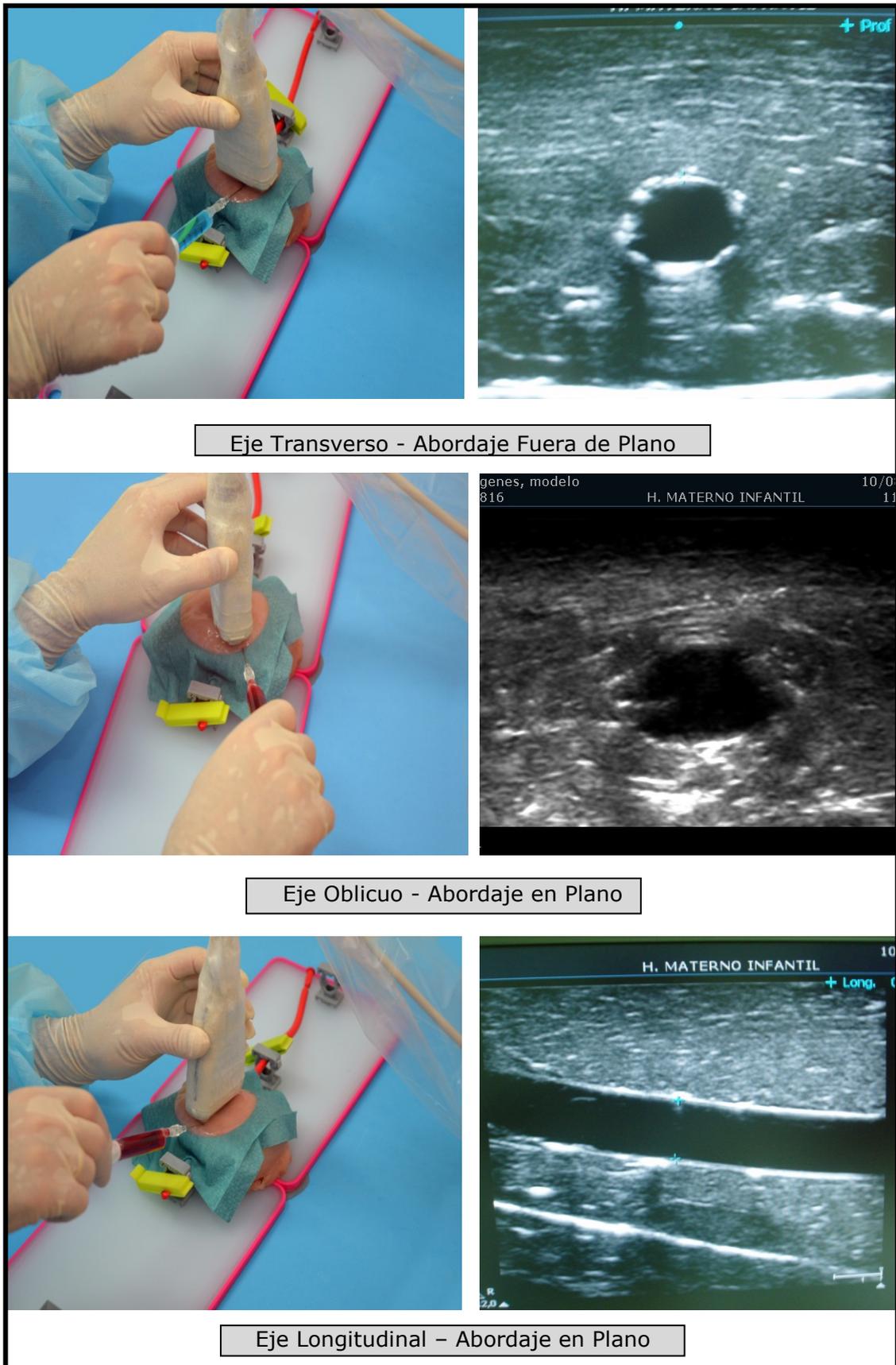


Figura 45.- Visión de la estructura muscular y vascular en los Ejes ecográficos estudiados, en el modelo diseñado

La VA de punción en la CVE en los distintos ejes analizados en el modelo de entrenamiento diseñado se presentan en la Figura 46.

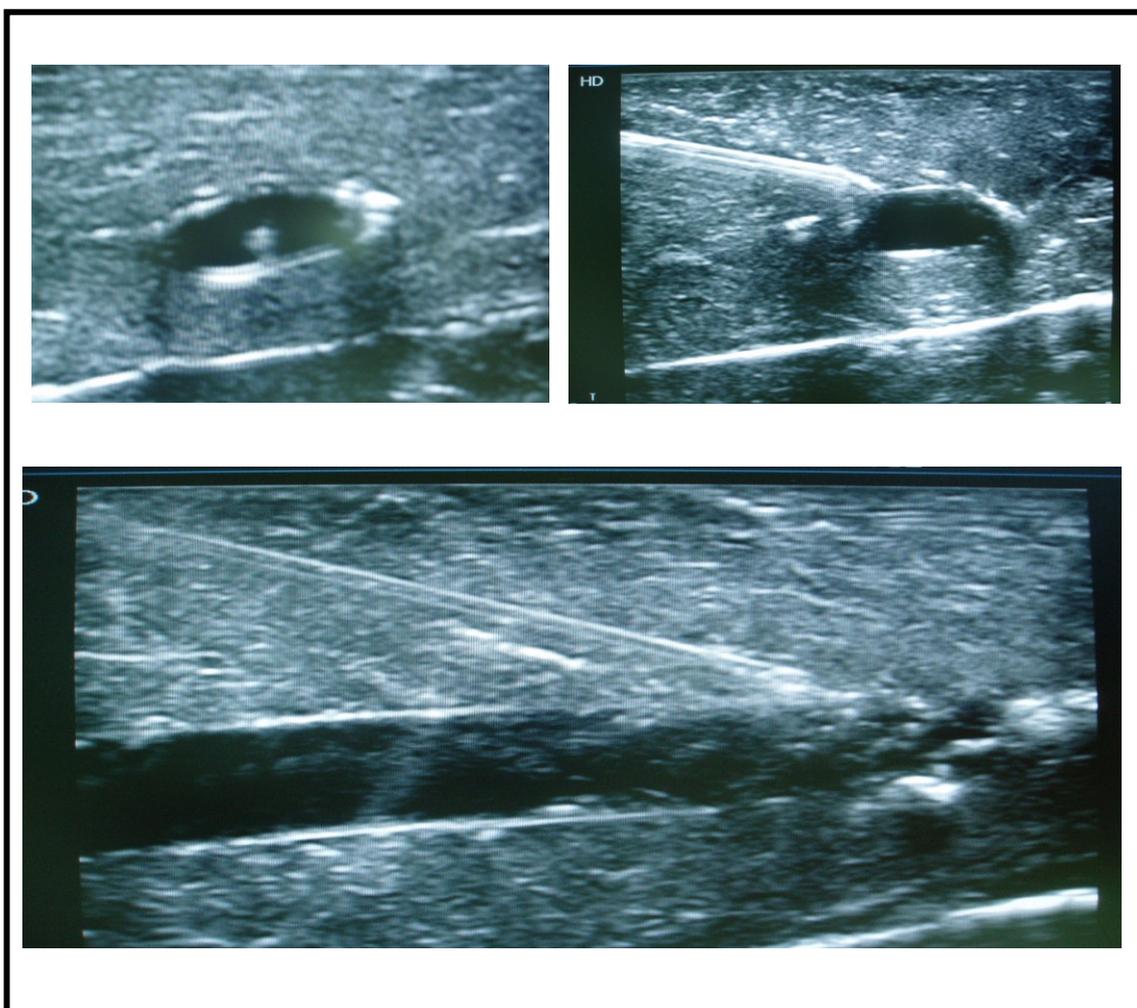


Figura 46: Visualización de la aguja de punción en los tres ejes estudiados en el modelo de entrenamiento en CVE

4.3.- APLICACIÓN DEL MODELO DE ENTRENAMIENTO EN CANALIZACIÓN VASCULAR ECOGUIADA

4.3.1.- Resultados preliminares de un programa de formación en CVE por operadores sin experiencia

Veinticinco alumnos (56% Médicos y 44% Enfermeros) sin experiencia en CVE, considerados Operador 1 (GI), realizaron un total de 300 punciones en el modelo (12 por alumno) distribuidas equitativamente en los ET-FP y EL-EP.

La experiencia laboral y en canalización de vías venosas (centrales con "técnica clásica a ciegas", centrales con abordaje periférico o periféricas) por parte de los operadores participantes fue de 13,04 (9,69) años.

La profundidad media de los vasos a canalizar fue de 0,90 (0,34) cm y su diámetro medio de 0,41 (0,1) cm.

El número medio de intentos realizados fue de 1,8 (1,2) y el tiempo medio de los procedimientos fue de 115,6 (114,9) segundos (Tabla 20).

	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	DE
Profundidad (cm)	0,50	1,90	0,85	0,90	0,34
Diámetro (cm)	0,20	0,65	0,40	0,41	0,10
Nº Intentos	1,00	11,00	1,00	1,80	1,24
T. Procedimiento (s)	14,00	958,00	72,00	115,63	114,98

Tabla 20: Descriptiva de las principales variables del modelo de CVE en operadores sin experiencia en la técnica

La VCA de punción se consiguió en el 41,7% y la VPA durante la punción se produjo en un 42% de las ocasiones (Figura 47).

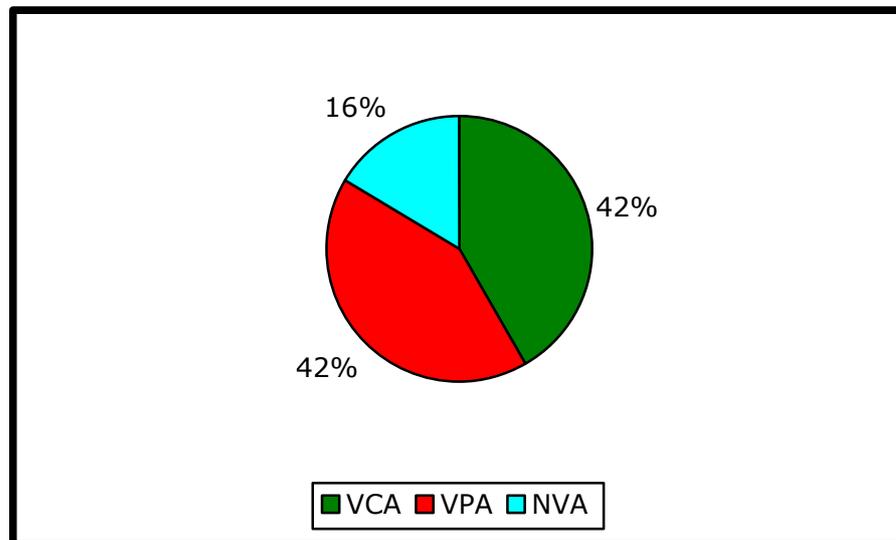


Figura 47: Visión de la aguja durante la realización de la CVE

La VCA se asoció a:

- Un menor número de intentos para la canalización: 1,5 (0,9) vs 2,1 (1,4); $p < 0,001$.
- Un menor tiempo de realización del procedimiento: 75,2 (73,2) s vs 146,9 (130,8) s; $p < 0,001$.
- Punción en el EL-EP: 65% vs el ET-FP: 35% ($p < 0,001$).

Fue precisa la reubicación de la guía para la correcta CVE en un 49% de los casos. Esta intervención se realizó más frecuentemente cuando:

- La punción se realizó en el ET-FP respecto al EL-EP (63% vs 37%; $p < 0,001$).

- No se consiguió la VCA durante la punción (56,8% vs 43,2; $p < 0,05$).
- El diámetro de la estructura vascular fue menor: 0,40 (0,11) cm vs 0,43 (0,10) cm; $p < 0,05$.

Las complicaciones objetivadas fueron:

- Perforación del vaso/mala posición de la guía (PV/MPG): 26,3%
- Punción del vaso sin conseguir la canalización: 4,3%

La PV/MPG se asoció a:

- Menor diámetro vascular: 0.38 (0,08) cm vs 0.42 (0,11) cm; $p < 0.001$
- Mayor número de intentos para la correcta CVE: 2,76 (1,40) vs 1,46 (0,95); $p < 0,001$
- Mayor tiempo de procedimiento: 219,72 (140,34) s vs 78,42 (75,51) s; $p < 0,001$ y
- Menor tasa de éxito: 34,2% vs 95,9%; $p < 0,001$

La tasa de éxito fue del 79,7%, y se asoció a:

- Un mayor diámetro del vaso a puncionar.
- Un menor número de intentos.
- un menor tiempo de canalización.
- Una mayor tasa de VCA.
- Una menor tasa de PV/MPG (Tabla 21).

	Éxito				p
	Si Media	DE	No Media	DE	
Profundidad (cm)	0,91	0,35	0,87	0,33	ns
Diámetro (cm)	0,42	0,10	0,37	0,09	<0,001
Nº de Intentos	1,49	0,81	3,00	1,72	<0,001
Tº Procedimiento (s)	87,69	88,81	225,09	138,91	<0,001
	Si %		No %		P
VCA	90,8		9,2		<0,001
PV/MPG	11,3		88,7		<0,001

Tabla 21: Variables asociadas al éxito en la CVE

En la Figura 48 se objetiva la mayor tasa de éxito en la CVE a mayor diámetro vascular (D1).

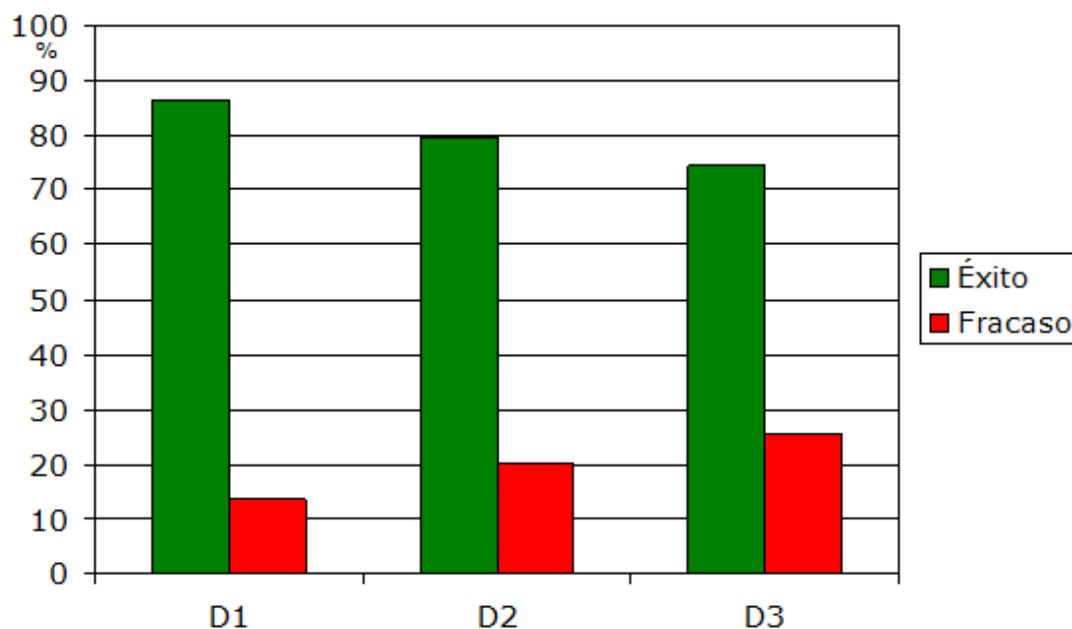


Figura 48: Distribución porcentual de la tasa de éxito en la CVE en los tres rangos de diámetro estudiados

La tasa de éxito al primer intento de 66,9%. En la Tabla 22 se presentan las frecuencias del número de intentos realizados para la CVE exitosa.

Nº de Intentos	%
1	66,9
2	22,2
3	7,5
4	2,1
5	0,8
7	0,4

Tabla 22: Distribución porcentual del número de intentos realizados para la CVE exitosa en el modelo de entrenamiento

La fidelidad global del modelo de punción respecto a la punción “*in vivo*” en el paciente pediátrico valorada por lo alumnos fue del 87,2%.

El apartado mejor valorado fue la consideración como un buen modelo de entrenamiento para la posterior CVE “*in vivo*” con un 92,8% de aceptación. En la Figura 49 se presentan las valoraciones del modelo por los alumnos participantes en el Taller de CVE.

Tras la realización de estos talleres (Figura 50) y la valoración positiva del modelo en los 5 apartados evaluados (Estructura muscular; Estructura vascular; Modelo global; Maniobras facilitadoras de la canalización vascular-instrumentación y Utilidad del modelo),

se realizó un análisis en profundidad de la técnica de CVE por parte de 2 operadores con distinto grado de experiencia en la técnica "in vivo" y en la canalización en el modelo de estudio.

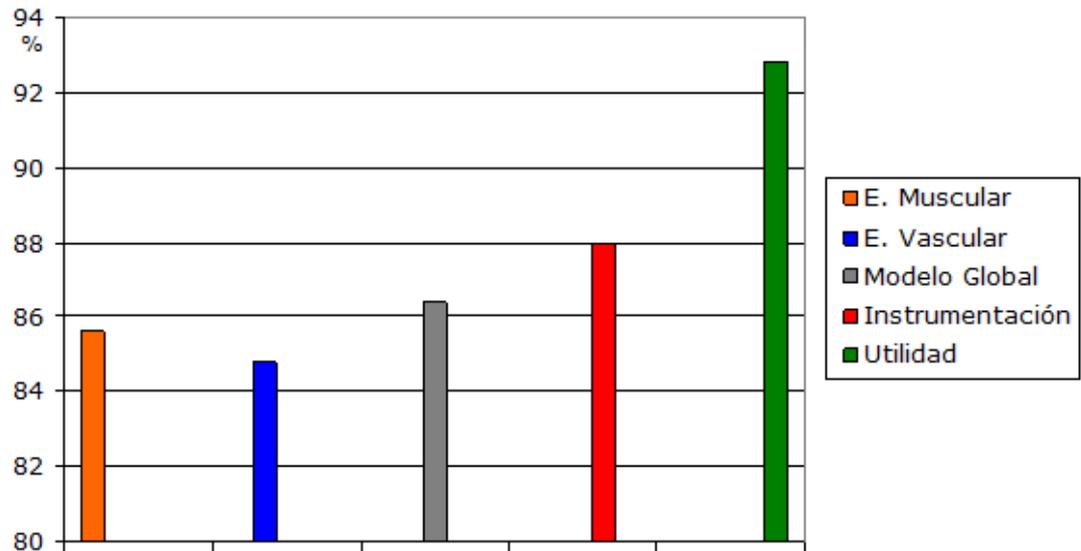


Figura 49: Valoración porcentual del modelo de entrenamiento en CVE por parte de los alumnos participantes en los talleres de formación

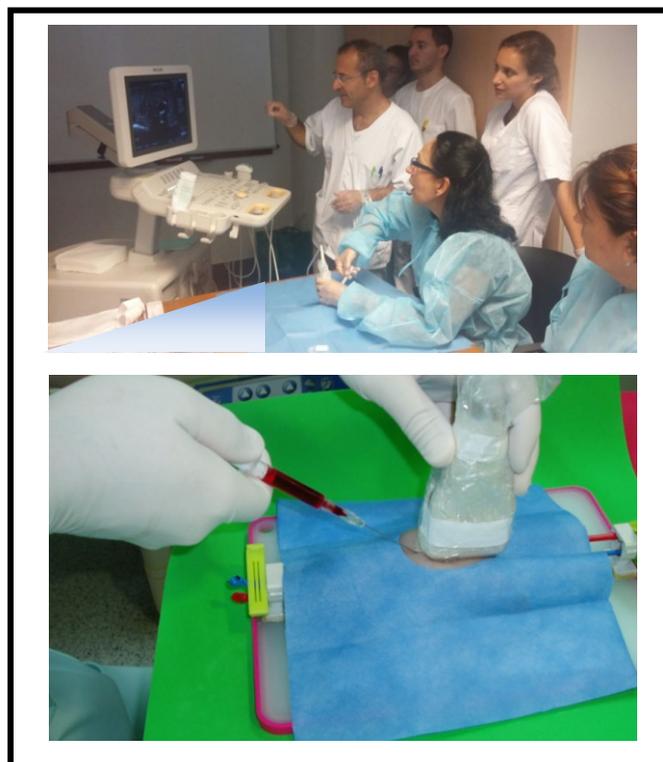


Figura 50: Talleres de formación realizados en operadores sin experiencia en CVE

4.3.2.- Análisis del modelo de entrenamiento en series de simulaciones programadas por operadores con distinto grado de experiencia en CVE

Se realizaron 864 punciones vasculares ecoguiadas por dos operadores con distinto grado de experiencia en el modelo y en la CVE, considerados Operador 2 (GII) y Operador 3 (GIII). La distribución de las punciones fue equitativa en relación a:

- El operador: 50% GII; 50% GIII
- Los ejes-abordaje: 33,3% ET-FP; 33,3% EO-EP; 33% EL-EP
- Rangos de profundidad vascular: 33,3% P1; 33,3% P2; 33,3% P3
- Rangos de diámetro vascular: 33,3% D1; 33,3% D2; 33,3% D3
- Distancia desde la aguja de punción al transductor ecográfico: 50% próximas (PPT); 50% separadas (PST)

La profundidad media de los vasos a canalizar fue de 1,16 (0.42) cm y su diámetro medio de 0.43 (0.11) cm.

El número medio de intentos realizados fue de 1,22 (0,68) y el tiempo medio de canalización fue de 41 (35) s (Tabla 23).

	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	DE
Profundidad (cm)	0,50	2,00	1,16	1,16	0,42
Diámetro (cm)	0,22	0,65	0,43	0,43	0,11
Nº de Intentos	1,00	5,00	1,00	1,22	0,68
T. Procedimiento (s)	10,00	350,00	30,00	41,00	35,81

Tabla 23: Descriptiva de las principales variables del modelo de CVE en operadores con experiencia en la técnica

Se consiguió la VCA durante la punción en un 73,7%, VPA en un 22% de las punciones y NVA de punción en un 4,3% (Figura 51)

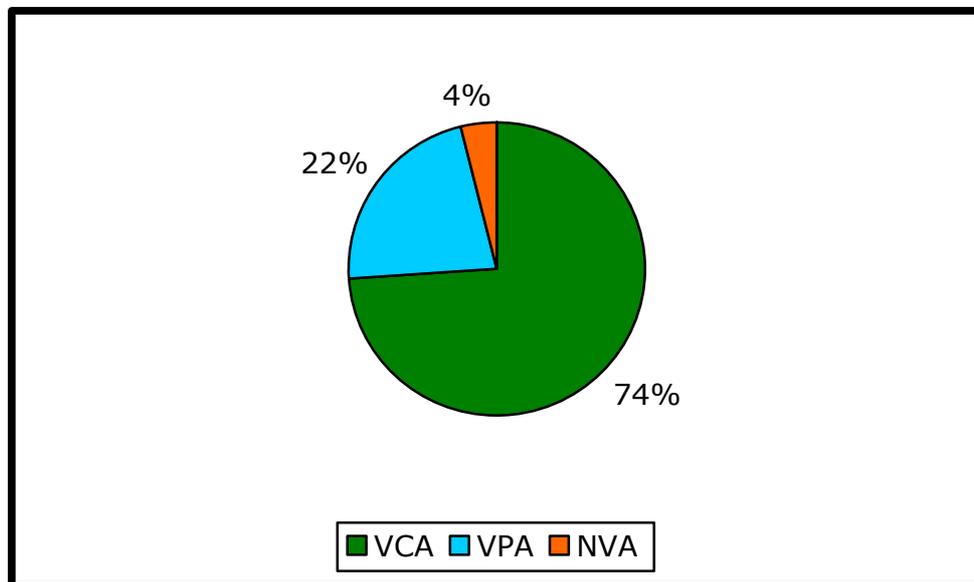


Figura 51: Distribución de frecuencias de la visualización de la aguja durante la CVE

Fue precisa la intervención reubicando guía o movilizándolo la angulación de la aguja de punción en un 20,1% de las ocasiones.

Se produjo la (PV/MPG) en un 13,2%.

En 10 punciones (1,1%), se consiguió puncionar la estructura vascular del modelo, con aspirado y/o salida del contenido líquido de su interior, no siendo posible su canalización definitiva.

La tasa de éxito en el modelo de entrenamiento utilizado fue del 96,1% (830 punciones).

4.3.2.1.- Visión de la aguja de punción

La visualización de la aguja de forma completa durante la punción se produjo en un 73,7%.

La VCA fue significativamente mayor:

- Si la estructura vascular se ubicaba en los rangos de menor profundidad.
- En los EL-EP y EO-EP

No existió diferencia en la VCA en relación al diámetro de la estructura vascular a canalizar (Tabla 24).

VCA/R-Profundidad	P1	P2	P3	p
%	83,7	78,1	59,4	<0,001
VCA/R-Diámetro	D1	D2	D3	p
%	73,6	75,3	72,2	ns
VCA/Eje-Abordaje	ET-FP	EO-EP	EL-EP	p
%	57,3	81,6	82,3	<0,001

Tabla 24: Distribución porcentual de la VAC en relación a los rangos de profundidad (P) y diámetro (D) y ejes ecográficos-abordaje analizados

La VCA se asoció a:

- Una menor profundidad de la estructura vascular.
- Un menor número de intentos para la correcta canalización.
- Un menor tiempo de procedimiento (Tabla 25).

No existió diferencia en la tasa de VCA si la punción se realizaba PPT respecto a PST: 71,3% vs 76,2%; ns.

	VCA	N	Media	DE	p
Profundidad (cm)	Si	637	1,10	0,41	< 0,001
	No	227	1,35	0,41	
Diámetro (cm)	Si	637	0,43	0,10	ns
	No	227	0,44	0,11	
T. Procedimiento (s)	Si	637	34,13	23,54	< 0,001
	No	227	60,30	53,21	
Número de intentos	Si	637	1,11	0,40	< 0,001
	No	227	1,52	0,95	

Tabla 25: Comparación de la visión completa de la aguja con distintas variables analizadas.

La visión de la aguja de punción en algún momento del procedimiento, bien de forma completa o parcial, presentó una mayor incidencia en los EL-EP y EO-EP, siendo el ET-FP el que presentó una mayor dificultad para la visualización de la aguja durante el procedimiento como se muestra en la Figura 52.

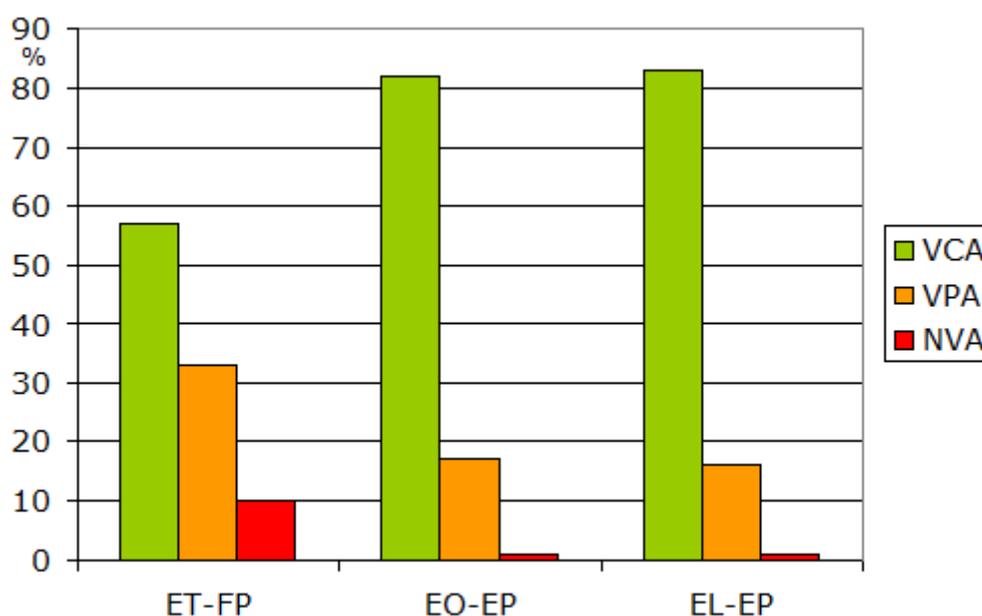


Figura 52: Distribución porcentual de la visualización de la aguja en relación al eje ecográfico y abordaje utilizado

4.3.2.2.- Canalización reubicando guía

La necesidad de reubicar la guía para la correcta canalización fue de un 20.1%. Esta maniobra presentó una incidencia significativamente más alta en:

- Rangos de profundidades vasculares mayores
- Rangos de diámetros vasculares menores
- Los ejes ecográficos oblicuo-EP y transverso-FP (Tabla 26)

No existieron diferencias en la tasa de CRG si la punción se realizaba cercana o alejada del transductor (51% vs 48%; ns)

CRG/R-Profundidad	P1	P2	P3	p
%	25,9	33,7	40,4	<0,05
CRG/R-Diámetro	D1	D2	D3	p
%	22,3	32,5	45,2	<0,001
CRG/Eje-Abordaje	ET-FP	EO-EP	EL-EP	p
%	41,6	45,8	12,7	<0,001

Tabla 26: Distribución porcentual de la tasa de CRG asociada a los distintos rangos de profundidad (P), diámetro (D) y ejes ecográficos-abordaje analizados

La necesidad de CRG para la correcta CVE se asoció a (Tabla 27):

- Mayor profundidad de la estructura vascular.
- Menor diámetro vascular.
- Mayor tiempo de canalización.
- Mayor número de intentos realizados.

	CRG	N	Media	DE	p
Profundidad (cm)	Si	166	1,26	0,41	<0,001
	No	664	1,12	0,41	
Diámetro (cm)	Si	166	0,41	0,01	<0,001
	No	664	0,44	0,11	
T. Canalización (s)	Si	166	43,81	34,54	<0,01
	No	664	34,87	23,08	
Nº de intentos	Si	166	1,25	0,64	<0,05
	No	664	1,12	0,41	

Tabla 27: Asociaciones significativas de la necesidad de reubicar guía (CRG) en relación a variables analizadas

4.3.2.3.- Tiempo empleado y número de intentos para la CVE

El tiempo de canalización y el número de intentos para la CVE exitosa realizados para la misma, en relación a distintas variables analizadas (rangos de profundidad, rangos de diámetro y eje ecográfico) se presentan en la Tabla 28.

	T. Canalización (s)		p	Número de Intentos		p
	Media	DE		Media	DE	
P1	35,06	27,00	<0,001	1,15	0,52	<0,01
P2	35,29	26,66		1,18	0,58	
P3	52,66	47,03		1,33	0,73	
D1	34,25	25,37	<0,001	1,14	0,45	<0,001
D2	42,70	26,76		1,15	0,45	
D3	46,06	44,22		1,37	0,84	
ET-FP	39,19	32,21	<0,01	1,15	0,56	<0,05
EO-EP	46,51	44,14		1,30	0,73	
EL-EP	37,31	28,69		1,22	0,55	

Tabla 28: Tiempo empleado y número de intentos necesarios para la CVE en base a los rangos de profundidad (P) y diámetro (D) y ejes ecográficos-abordaje

El tiempo de canalización y el número de intentos para la misma fueron significativamente superiores en:

- Rangos mayores de profundidad.
- Rangos menores de diámetros vasculares menores.
- El EO-EP.

4.3.2.4.-Variables asociadas al éxito en la CVE

La tasa de éxito en el modelo de entrenamiento utilizado fue del 96,1%.

El porcentaje de éxito en la CVE en el modelo estudiado se presenta en relación a distintas variables analizadas (Figura 53).

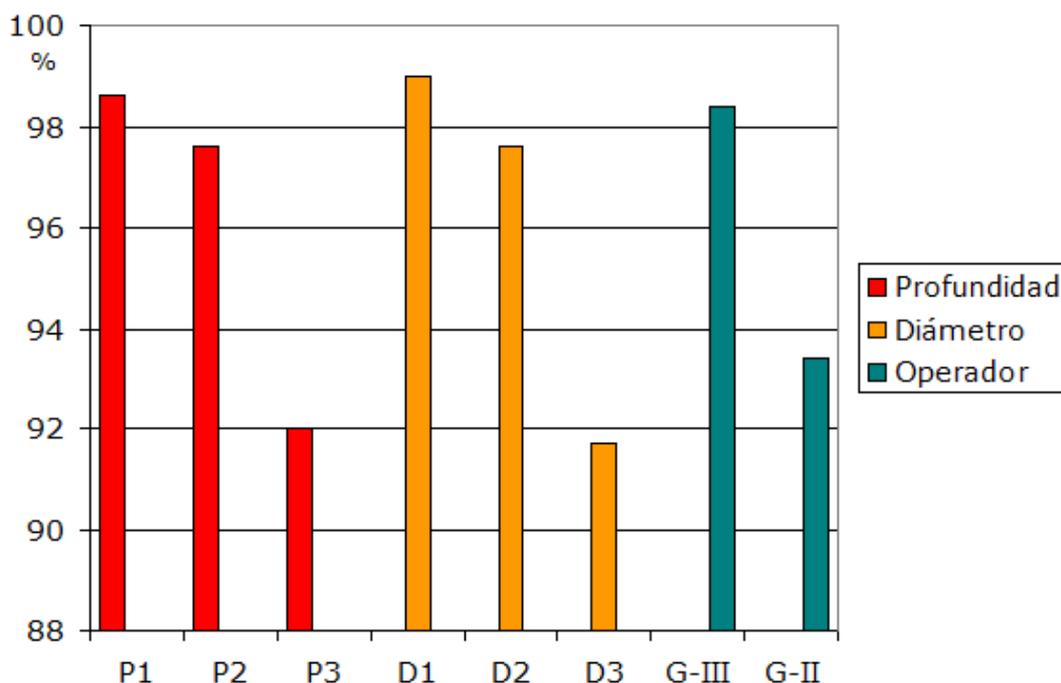


Figura 53: Tasa de éxito asociada a los distintos rangos de profundidad (P) y diámetro (D)

La tasa de éxito (Figura 53) fue significativamente mayor en:

- Los rangos de profundidad menores (P1= 98% y P2= 97%) respecto al rango de mayor profundidad (P3= 92%; $p<0,001$).
- Los mayores diámetros vasculares (D1= 99% y D2= 97%) respecto al menor diámetro vascular (D3= 91%; $p<0,001$).
- El operador con más experiencia en la técnica (GIII= 98,4% vs GII= 93,8%; $p<0,001$).

El eje ecográfico en el que se consiguió más frecuentemente la canalización fue el EL-EP (98,6%), seguido del ET-FP (96,9%) y por último el EO-EP (92,7%), siendo estas diferencias estadísticamente significativas ($p<0,01$). Estos porcentajes se muestran a nivel gráfico en la Figura 54.

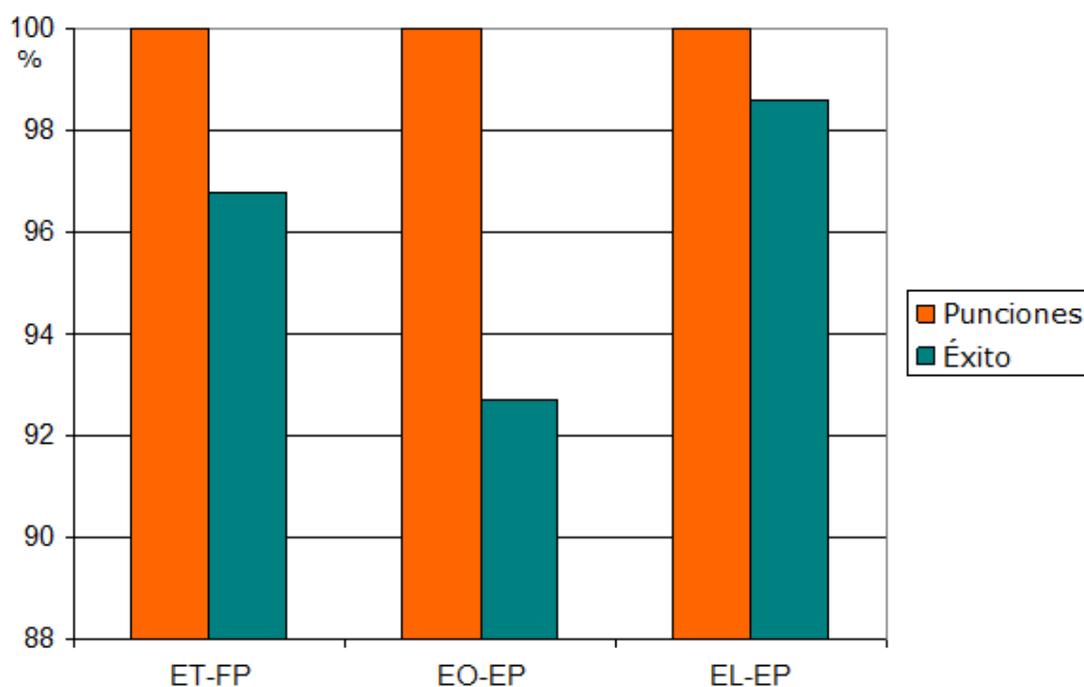


Figura 54: Tasa de éxito en la CVE en los distintos ejes ecográficos utilizados para la punción vascular ecoguiada

No existieron diferencias en relación a la distancia a la que se realizó la punción respecto al transductor y el éxito de la misma (PPT: 49,5% vs PST: 50,5%; ns).

La VA en algún momento de la realización del procedimiento se asoció a una mayor tasa de éxito en la CVE (96,9% vs 78,4%; $p < 0,001$)

Igualmente la VCA presentó una tasa de éxito significativamente superior a la VPA o NVA: 98,1% vs 90,3%; $p < 0,001$.

La tasa de éxito fue significativamente superior cuando no existió PV/MPG (88,8% vs 11,2%; $p < 0,001$).

La CVE exitosa se asoció de forma significativa a una menor profundidad y a un mayor diámetro del vaso a puncionar, junto a un menor tiempo para la realización de la técnica y a un menor número de intentos (Tabla 29).

	Éxito	N	Media	DE	P
Profundidad (cm)	Si	830	1,15	0,41	<0,001
	No	34	1,51	0,40	
Diámetro (cm)	Si	830	0,44	0,11	<0,001
	No	34	0,36	0,07	
T. procedimiento (s)	Si	830	36,66	26,01	<0,001
	No	34	147,12	66,90	
Nº de intentos	Si	830	1,14	,47	<0,001
	No	34	3,06	1,04	

Tabla 29: Comparación de las distintas variables analizadas en relación al éxito en la CVE

La tasa de canalización al primer intento fue del 89,5%, presentándose en la Tabla 30, las frecuencias del número de intentos en las CVE exitosas.

Nº de Intentos	%
1	89,5
2	7,1
3	2,4
4	0,4
5	0,1

Tabla 30: Número de intentos realizados por los operadores con experiencia (GII y GIII) en la técnica ecoguiada, para la CVE exitosa

4.4.- CURVA DE APRENDIZAJE

4.4.1.- Comparaciones intergrupos en base a la experiencia en la técnica de CVE

Entre los dos grupos a comparar (GI: operadores sin experiencia y GII-GIII: operadores con distinto grado de experiencia en la técnica de CVE), no existieron diferencias en:

- La profundidad media a la que se situaba la estructura vascular: 0,92 (0,27) cm vs 0,90 (0,31) cm.
- El diámetro medio de los vasos a canalizar: 0,42 (0,09) cm vs 0,41 (0,10) cm.

Así mismo las punciones se realizaron proporcionalmente en los ET-FP (50%) y EL-EP (50%), siempre cercanas al transductor ecográfico (PPT).

En el grupo sin experiencia (GI) en la CVE respecto al grupo de operadores con experiencia (GII-III) en CVE fue significativamente mayor:

- La tasa de CRG.
- La PV/MPG
- El número de intentos para la canalización.
- El tiempo destinado a la realización de la técnica (Tabla 31).

Por el contrario fue significativamente menor en el grupo sin experiencia en CVE:

- La tasa de VCA o VPA.
- La tasa de éxito global o al primer intento (Tabla 31).

	GI	GII-III	p
	%	%	
CRG	49	14,2	<0,001
PV/MPG	26,3	8,9	<0,001
VCA	43,7	74,5	<0,001
VA	84	96,9	<0,001
Éxito al 1º Intento	66,9	92,6	<0,001
Éxito	79,7	99	<0,001
	GI	GII-III	p
	Media	Media	
	DE	DE	
Nº Intentos	1,80	1,16	<0,001
Tiempo Procedimiento (s)	115,63	34,63	<0,001
	114,98	28,79	

Tabla 31: Comparativa de la principales variables estudiadas entre el grupo de operadores sin experiencia (GI) y con experiencia (GII-III) en la técnica de CVE

En las canalizaciones exitosas existieron las siguientes diferencias entre el GI y el GII-III, en el número de intentos realizados y en el tiempo empleado (Tabla 32):

	GI	GII-III	p
	Media	Media	
	DE	DE	
Nº Intentos	1,49	1,12	<0,001
Tiempo CVE (s)	87,69	32,84	<0,001
	88,81	22,76	

Tabla 32: Comparativa del número de intentos y tiempo empleado en la CVE exitosa entre el grupo de operadores sin (GI) y con (GII-III) experiencia en la técnica

La tasa de éxito y la de visión VA fue significativamente superior en los operadores con experiencia en la técnica (GII-GIII).

La maniobra de CRG y la PV/MPG fue significativamente superior en los operadores sin experiencia (GI), como se muestra en la Figura 55.

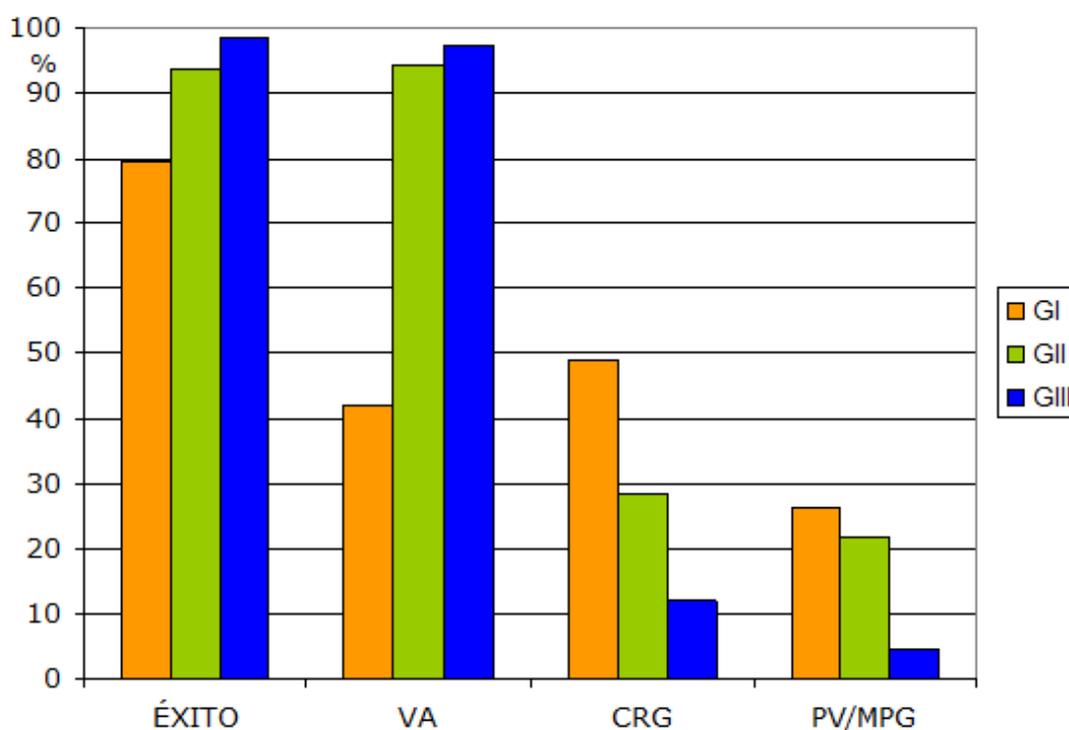


Figura 55: Distribución porcentual de las variables analizadas en los 3 grupos de estudio en base a la experiencia (GI, GII, GIII) en la técnica de CVE

En las Figura 56 y 57 se muestra gráficamente las diferencias entre ambos grupos en relación al número de intentos y el tiempo empleado en la técnica de CVE en relación a la profundidad y diámetro vascular.

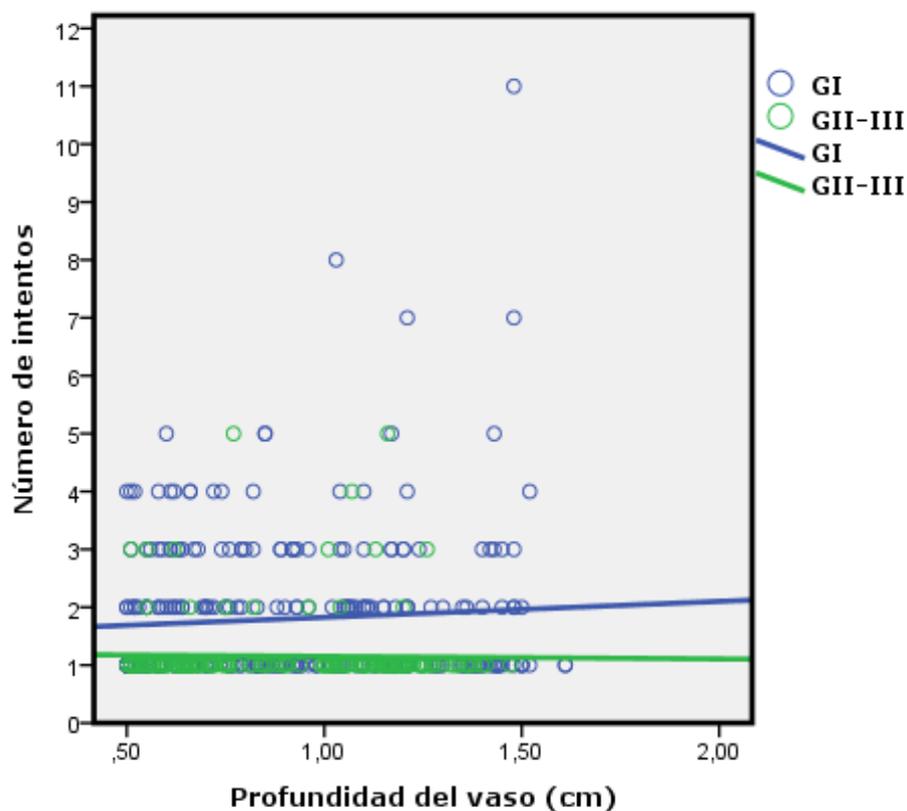
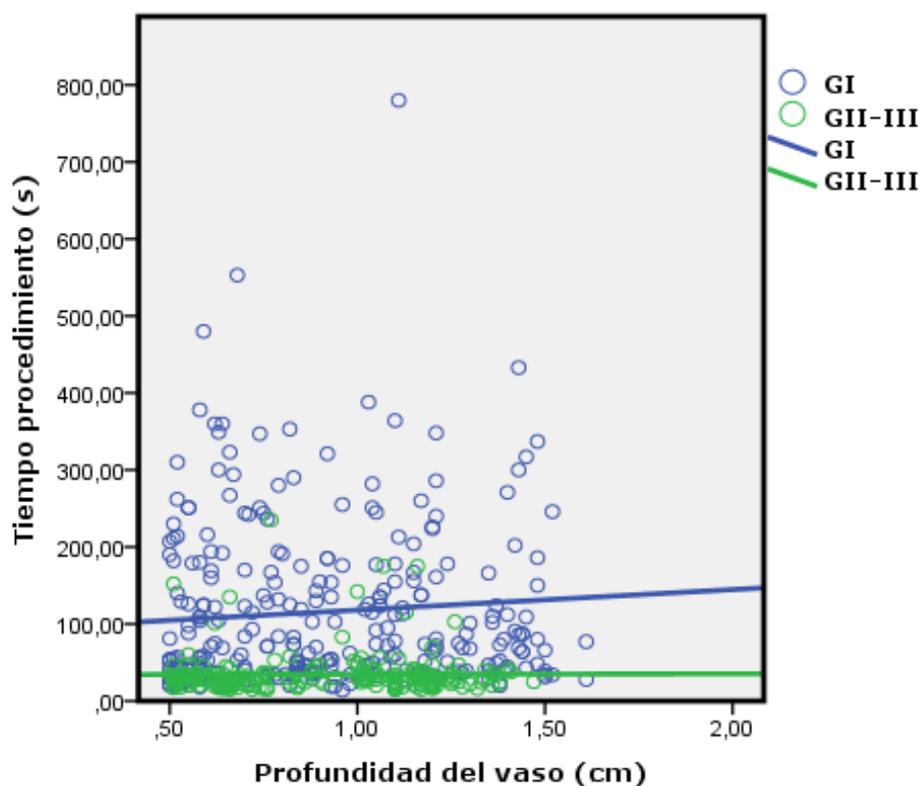


Figura 56: Comparativa del tiempo empleado y número de intentos realizados durante el procedimiento entre el grupo de operadores sin experiencia (GI) y con experiencia (GII-III) en relación a la profundidad vascular

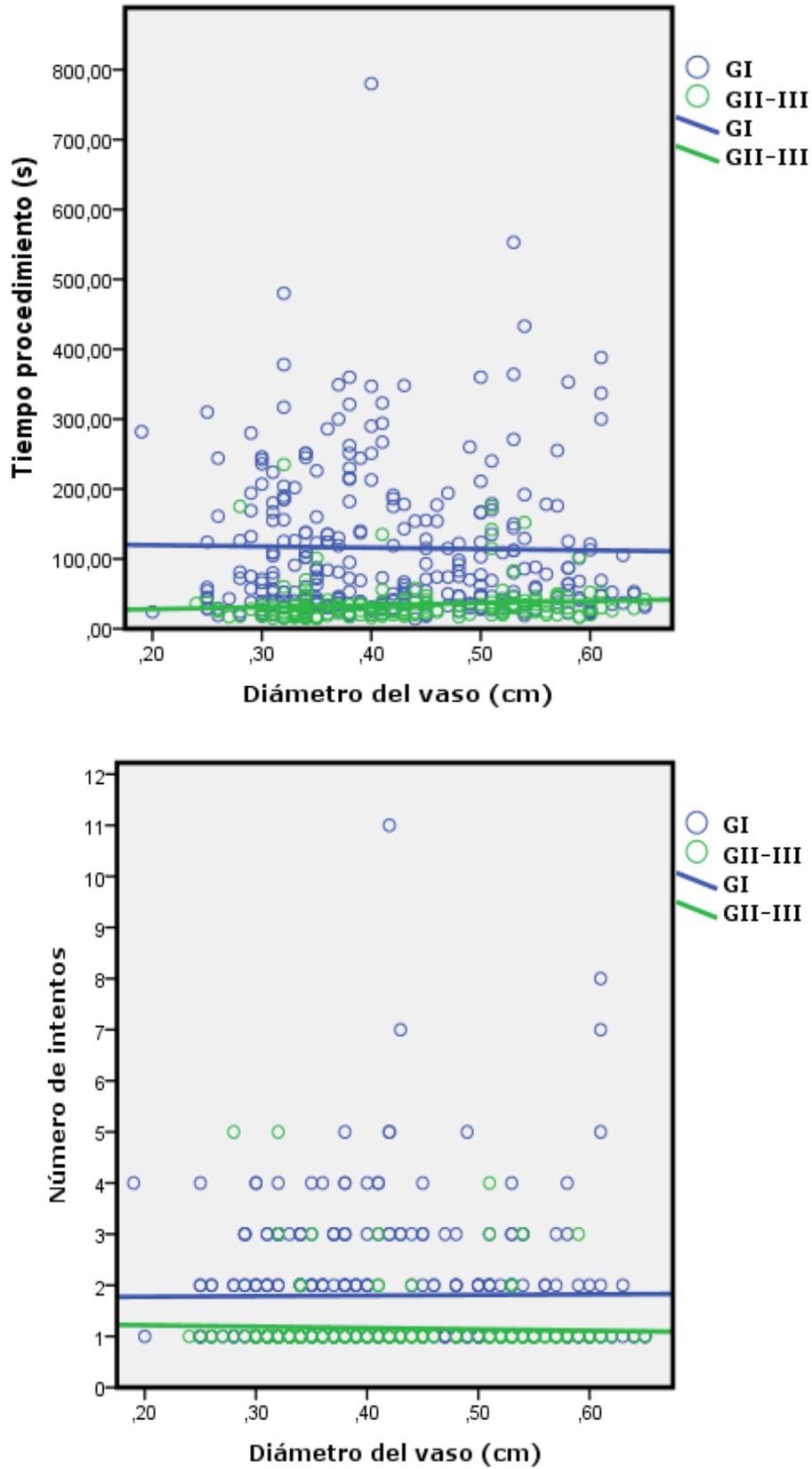


Figura 57: Comparativa del tiempo empleado y número de intentos realizados durante el procedimiento entre el grupo de operadores sin experiencia (GI) y con experiencia (GII-III) en relación al diámetro vascular

4.4.2.- Comparaciones intragrupo (operadores con experiencia en la técnica de CVE)

La VA en algún momento del procedimiento fue significativamente mayor en el operador con mayor experiencia (GIII), respecto al de menor experiencia (GII): 97,2% vs 94,2%; ($p < 0,05$). Al igual que la VCA: GIII: 77,5% vs GII: 69,9%; ($p < 0,05$).

La necesidad de CRG para la correcta CVE fue significativamente menor en el operador con más experiencia (GIII): 12% vs 28,4%; ($p < 0,001$).

La tasa de PV/MPG, igualmente fue significativamente mayor en el operador con menor experiencia (GII): 21,8% vs (GIII): 4,6%; ($p < 0,001$)

Existieron diferencias entre los dos grupos de operadores con experiencia a favor del operador más experimentado (GIII) en el:

- Tiempo de canalización: GII: 43,17 (42,34) s vs GIII: 38,84 (27,68) s; (cs: $p = 0,07$) y
- Número de intentos: GII: 1,28 (0,65) vs GIII: 1,15 (0,59); $p < 0,01$, siendo ambos mayores en el operador con menor experiencia en la técnica (GII).
- La tasa de éxito GII: 93,8 % vs GIII: 98,4%; $p < 0,001$.

No existieron diferencias entre ambos grupos en la tasa de éxito en relación a la PPT (GII: 49,4 % vs GIII: 49,6%; ns) o PST (GII: 50,6 % vs GIII: 50,4%; ns).

4.4.3.- Comparación de resultados entre la serie inicial y la serie final de simulaciones

Entre las dos series de simulaciones comparadas (inicial y final), existieron diferencias en la tasa de CRG, en el tiempo de canalización y en el número de intentos necesarios para la misma que fueron significativamente menores en la serie final. En ella la tasa de VCA o VPA fue significativamente mayor que en la serie inicial de simulaciones. No existieron diferencias significativas en la tasa de éxito ni en la tasa de PV/MPG (Tabla 33).

	Serie Inicial %	Serie Final %	P		
CRG	25,5	14,4	<0,001		
PV/MPG	14,4	12,0	ns		
VCA	65,0	82,4	<0,001		
VA	95,4	96,1	<0,001		
Éxito	97,0	95,1	ns		
	Media	DE	Media	DE	P
Tiempo Canalización (s)	45,09	41,11	36,92	29,06	<0,01
Número de Intentos	1,27	0,70	1,17	0,52	<0,05

Tabla 33: Comparativa de la principales variables estudiadas en relación a las dos series de simulaciones realizadas en el tiempo por operadores con experiencia en CVE (GII y GIII)

4.5.-ANÁLISIS DE LOS FALLOS EN LA CANALIZACIÓN VASCULAR ECOGUIADA

4.5.1.- Modelo de asociación en el fracaso de la CVE

La asociación más frecuente objetivada en el fracaso de la técnica en los operadores con experiencia en CVE es: máxima profundidad vascular (P3), mínimo diámetro vascular (D3) y realización en el EO-EP en un 26% de los casos, seguida de: máxima profundidad vascular (P3), diámetro medio vascular (D2) y EO-EP en un 17%.

Más del 50% de los fallos se producen a la máxima profundidad vascular, diámetro medio ó mínimo y en los ET-FP y EO-EP (Figura 58).

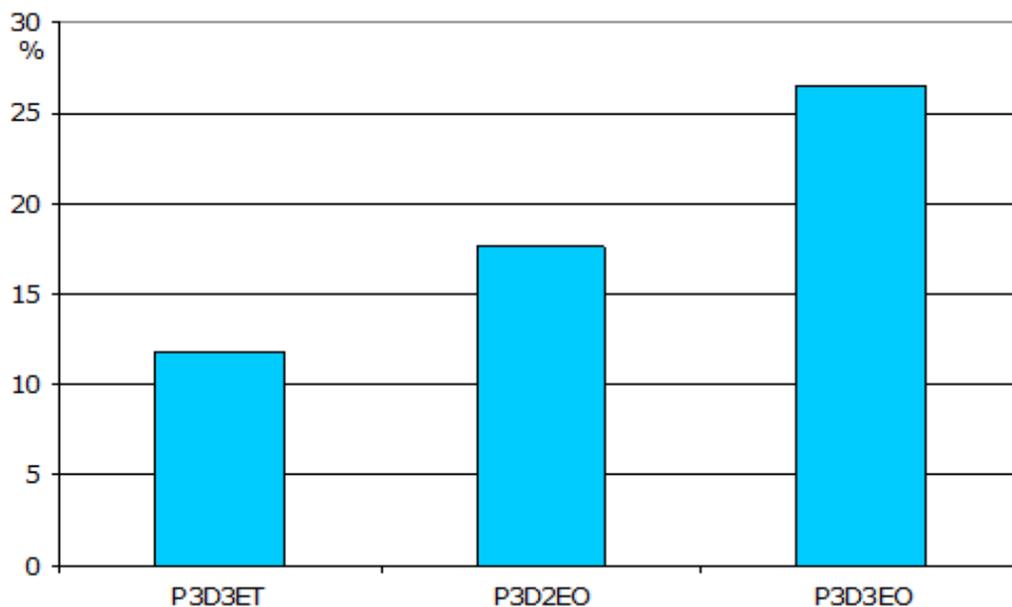


Figura 58: Distribución mayoritaria de los fracasos en la técnica de CVE en los operadores con experiencia, en base a rango de profundidad (P), rango de diámetro (D) y eje de canalización

En la Figura 59 se muestra como el rango de profundidad que presenta más dificultad para la CVE es el P3 (50%), el rango de diámetro vascular en el que la CVE es menos exitosa es el D3 (66,6%) y el eje de canalización con peores resultados (mayor tasa de fracaso), el EO-EP (41,6%).

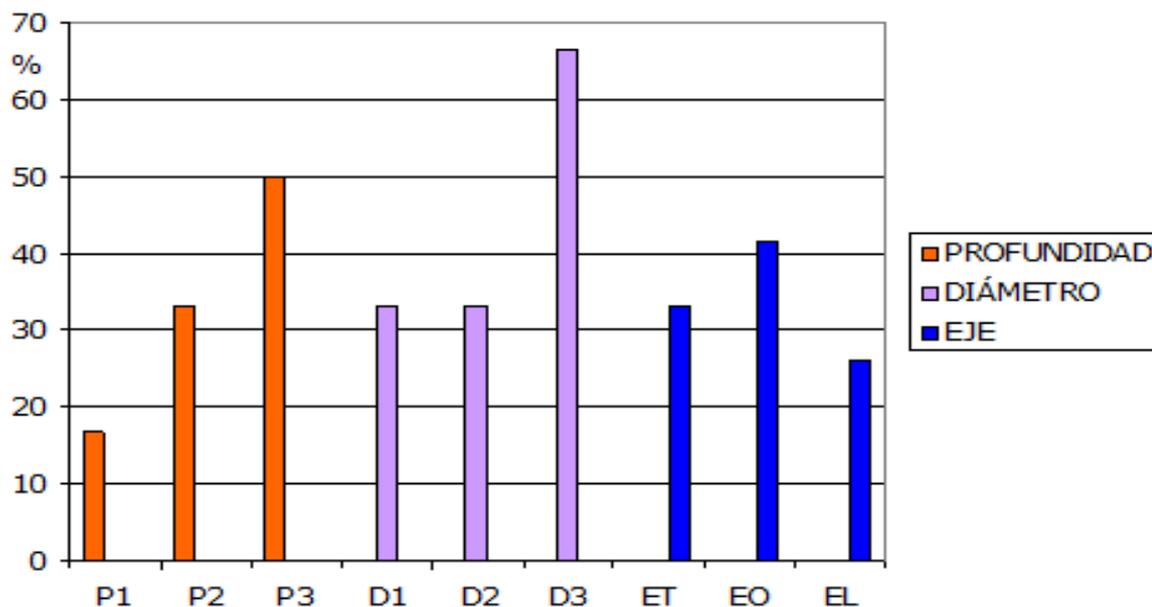


Figura 59: Distribución porcentual de los fracasos en la técnica de CVE por rangos de Profundidad (P), rangos de Diámetro (D) y eje de canalización en los operadores con experiencia (GII y GIII)

4.5.2.- Distribución de los fracasos por operador

Los fallos se producen de forma más aleatoria en el operador de mayor experiencia (GIII), mientras que en el de menor experiencia (GII), la distribución se corresponde al modelo referido en el apartado anterior. Un 55% de los fallos en el operador de menor experiencia (GII) se producen en el rango de profundidad mayor, rango de diámetro medio ó mínimo y EO-EP (Figura 60).

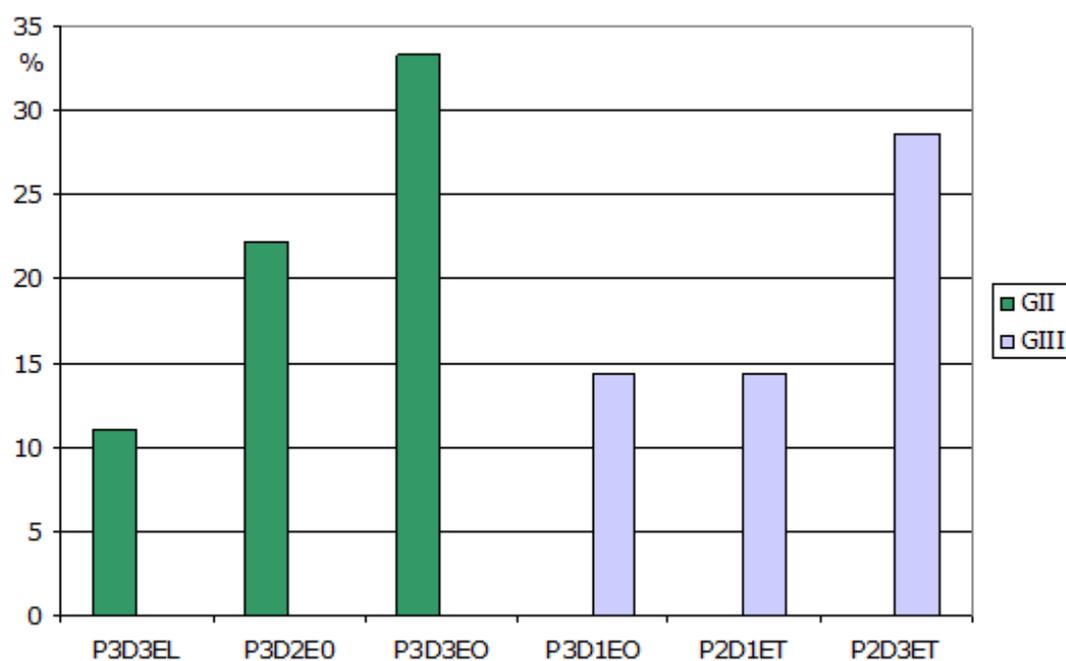


Figura 60: Distribución más frecuente de los fracasos en la técnica de CVE, según operador en base a rango de profundidad (P), rango de diámetro (D) y eje de canalización

DISCUSIÓN

5.-DISCUSIÓN

5.1.- LOCALIZACIÓN Y MEDICIÓN DE LOS VASOS CENTRALES PEDIÁTRICOS

El uso de la ecografía para la canalización vascular en el paciente pediátrico presenta una progresión ascendente en los últimos años. Al igual que en los paciente adultos, se objetiva con esta técnica, una mejora en la tasa de éxito y una disminución de las complicaciones respecto a la técnica clásica de canalización a ciegas. El conocimiento de la anatomía normal y sus variantes es vital para la práctica segura de la técnica.

La ecografía vascular permite visualizar la trayectoria de los vasos sanguíneos, descartar complicaciones vasculares, como trombos o hematomas e incluso poder elegir el vaso más adecuado para su canalización, minimizando de este modo, los riesgos de una punción realizada "a ciegas" según referencia anatómica. Así mismo, con el uso de la ecografía, podemos visualizar el árbol vascular del paciente pediátrico permitiendo su localización y medición tanto de profundidad como de diámetro vascular. Esto nos permitirá elegir el tipo de aguja indicada para la punción, así como la longitud a introducir de la misma o el calibre del catéter indicado para evitar perforaciones o trombosis vasculares.

En los pacientes pediátricos, se han utilizado múltiples técnicas para medir el tamaño de los vasos centrales a través de las imágenes

vasculares obtenidas mediante TAC o Resonancia Magnética Nuclear (RMN), angiografías o ecografías vasculares e incluso por estudios necrópsicos vasculares (82).

Las mediciones de profundidad y diámetro de los vasos pediátricos, al igual que su correlación con variables demográficas y antropométricas como la edad, peso, altura y superficie corporal, presentan una bibliografía limitada con series focalizadas en determinados rangos de edad (recién nacidos, lactantes) o con un número de pacientes bajo.

En el presente trabajo se incluyen a 125 pacientes realizándose en total, 750 medidas vasculares de los vasos centrales más comúnmente canalizados en el paciente pediátrico, los femorales y los yugulares.

La canalización vascular femoral es frecuentemente realizada en los niños según describe Vincent et al (14) debido a:

- La mayor facilidad en su identificación anatómica por la técnica clásica a ciegas.
- La posibilidad de ejercer presión de forma rápida si se produce un sangrado en el sitio de punción.
- Su localización óptima por no interferir en las maniobras de reanimación o manejo de vía aérea en situaciones de emergencias.

En nuestra serie de 500 mediciones a nivel femoral (250 VF y 250 AF) en niños, con una media de edad de 65,7 meses (5,5 años), la profundidad media de las AF se sitúa en 0,71 cm respecto a las VF

que se localizan a 0,78 cm de la piel del paciente pediátrico. Por tanto, los vasos venosos femorales se localizan más profundos y además presentan un mayor diámetro (0,42 cm) respecto al diámetro de las AF (0,37 cm).

Estos resultados, en relación a la profundidad y diámetro de los vasos femorales en la población pediátrica estudiada, se confirman en el estudio realizado en adultos por Hughes et al (83).

Al realizar, en nuestro estudio, el análisis de las variables asociadas a la profundidad de los vasos femorales, éstas presentan una correlación fuerte (coeficiente de correlación $R=0,72$ para la VF y $R=0,71$ para las AF) con las variables antropométricas peso y talla.

En el estudio de Warkentine et al (50), donde se realizaron mediciones de las venas femorales de 84 niños menores de 9 años, encontramos que las mediciones de sus diámetros oscilaron entre 0,41 y 1 cm, aumentando en relación a la edad del paciente. Estos autores constatan una correlación entre la edad, peso, altura y superficie corporal con el diámetro de la VF, e incluso establecen una estimación del diámetro de la VF en base a estas variables. Así, por cada incremento de un año en la edad del paciente pediátrico aumentaría en 0,065 cm el diámetro de la VF, por cada aumento de un Kg en el peso del paciente aumentaría el diámetro de la VF en 0,018 cm y por cada cm que aumenta la talla, se incrementaría el diámetro de la VF 0,007 cm.

La serie de Akingbola et al (84), donde incluyen a 24 niños

comparando dos grupos de edades, recién nacidos con una edad media de 1-3 días y lactantes con una edad media entre 3-16 meses, objetivan que en el grupo de los lactantes existió una correlación alta ($R=0,80$) entre el diámetro de la VF y el peso. Esa correlación disminuía ($R=0,56$) en relación a la edad. Sin embargo, en el grupo de los recién nacidos no se objetivó correlación significativa entre peso y diámetro de los vasos femorales. Estos autores concluyen que el peso es predictor del diámetro de la VF en lactantes pero no en recién nacidos. La justificación a este resultado podría ser debido a la variabilidad del peso durante los primeros días de vida, lo que puede hacer menos predecible el tamaño de los vasos en relación a esta variable. Por tanto, ellos sugieren, como mejor parámetro, la superficie corporal para estimar el diámetro de los vasos femorales en los recién nacidos, pero no llevan a cabo esta correlación en su estudio.

En la serie de pacientes pediátricos del presente estudio, sí encontramos que el diámetro medio de los vasos femorales presenta una asociación significativa fuerte, con un coeficiente de correlación alto que oscila entre 0,83 y 0,89 en relación a la talla, peso y edad, siendo el mejor predictor, en el análisis de regresión lineal múltiple la talla del paciente pediátrico ($R=0,89$ para la AF y $R=0,86$ para la VF). Por cada incremento de 1 cm en la talla del niño se incrementa entre 0,004 y 0,005 cm el diámetro de los vasos femorales. Estos resultados de estimación del diámetro vascular a nivel femoral en

relación a la talla del paciente serían similares a los obtenidos en el estudio de Warkentine et al (50).

En nuestra serie, los vasos yugulares se sitúan en un rango de profundidad que osciló entre 0,3 y 1,8 cm y presentan un rango de diámetro entre 0,16 y 0,99 cm. Estas medidas aumentan en relación a la edad, peso, talla y superficie corporal. La correlación encontrada tanto en profundidad como en diámetro vascular fue más baja ($R=0,50$). Este hecho podríamos justificarlo por ser la VVI un vaso fácilmente colapsable y con un diámetro variable según la posición del paciente (mayor en Trendelemburg) y la dificultad al retorno venoso, por incremento de la presión intratorácica, como ocurre en pacientes con ventilación mecánica, hiperinsuflación pulmonar o maniobras de Valsalva. Así, al contrario de los vasos femorales, que suelen presentar en el eje transversal una imagen circular con diámetros antero-posteriores y transversos similares, los vasos yugulares presentan una imagen romboidal con diferencia de medida de los diámetros referidos.

El estudio de Steinberg et al (82), describe una correlación entre el diámetro de la VVI con el peso, altura, edad y superficie corporal en el paciente pediátrico analizando medidas vasculares tomográficas y angiográficas.

Otras series, como la de Alderson et al (48), miden mediante ecografía vascular la profundidad y diámetro de la VVI en 50 niños de

edades comprendidas entre 3 días y 5,5 años y con un peso entre 2,7 Kg a 22 Kg. Las mediciones las realizaron a nivel del cartílago cricoides, al igual que en nuestra serie. La profundidad de los vasos yugulares osciló entre 0,4-1 cm. Esta profundidad tendía a aumentar con la edad y con el peso, y la mejor correlación la encontraron en relación al peso. El diámetro de los vasos yugulares osciló entre 0,25 y 1,2 cm. Al igual que en nuestro trabajo, estos autores, encontraron una pobre correlación entre el diámetro de la VYI en relación a la edad ($R=0,50$) y peso ($R=0,39$). Nuestros resultados para estas mismas variables fueron: edad ($R=0,42$) y peso ($R=0,44$), siendo el mejor predictor la altura del paciente pediátrico ($R=0,50$). Aunque ambas series no son comparables, pues en nuestro estudio se abarcó un rango mayor de edad (2 días a 16 años) y peso (2,4 Kg a 73 Kg), los resultados presentados por el estudio de Alderson et al coinciden globalmente con los obtenidos en el presente trabajo.

Autores como Breschan et al (85), miden en su estudio los vasos yugulares de 60 niños menores 4,5Kg y objetivan que la profundidad media fue de 0,59 cm y el diámetro medio fue de 0,31 cm. Su población difiere de la nuestra en cuanto a la edad. Igual ocurre con las mediciones realizadas en el estudio de Murat et al (86), donde se objetiva que los pacientes menores de 1 año de edad tienen un diámetro en su VYI menor o igual a 0,5 cm. El 79,8% de los pacientes que tienen un diámetro de la VYI menor o igual a 0,5 cm tienen menos de 12 Kg, y miden menos de 80 cm. Sin embargo,

la correlación entre la edad, altura y peso, con la profundidad y el diámetro de la VVI es débil en este estudio, aunque tiende a aumentar con la edad, peso y altura.

En la serie de Eksioglu et al (87), estudian los diámetros de las VVI de los niños desde el nacimiento hasta los 18 años, así como la correlación entre las mediciones ecográficas con la edad, peso, altura y la superficie corporal dividiéndola en 4 grupos de edad: 0-2 años, 3-6 años, 7-12 años y 13-18 años. Ellos encuentran una correlación clínicamente significativa entre el diámetro de la VVI y la edad, peso y talla, pero solamente en el grupo de 0-2 años, que corresponde al grupo de crecimiento más rápido en los pacientes pediátricos. Esta correlación descendía con el aumento de la edad. A diferencia de estos autores, nosotros no podemos afirmar si esta correlación entre el diámetro de la VVI y la edad disminuye a medida que aumenta la edad de los pacientes pediátricos ya que no era un objetivo del trabajo y aunque hemos dividido a la población estudiada en tres rangos de edad solo hemos objetivado la correlación global positiva del diámetro de la VVI y la edad del paciente.

En un estudio realizado por Yildirim et al (88), que incluye a 92 niños entre 7 y 12 años no encontraron una correlación entre el diámetro de la VVI y la edad, pero sí objetivan un incremento significativo en el diámetro de la vena yugular al realizar la maniobra de Valsalva. De la misma manera, Mortensen et al (89) realizaron mediciones de los vasos yugulares de niños entre 13 meses y 16

años observaron una pobre correlación entre el diámetro de los vasos y la edad, peso, altura y superficie corporal. El diámetro más pequeño de los vasos medido en esta serie fue de 0,66 cm cuando el niño estaba en posición de Trendelemburg. Esta medición es superior a la mayoría de las series pero podría justificarse por el incremento de hasta un 20% del diámetro vascular al colocar a los pacientes 15 grados por debajo de la horizontal. Por el contrario, autores como Karazincir et al (90), efectuaron mediciones de venas yugulares de 95 niños de 0 a 6 años mediante ecografía en condiciones de reposo y tras maniobra de Valsalva, coincidiendo, sus mediciones realizadas en reposo, con las medidas obtenidas en nuestros pacientes y también con la estimación realizada en base a la altura. Así por ejemplo, en los pacientes pediátricos de talla media de 83 cm el diámetro antero posterior de la VVI es de 0.5-0,6 cm que coincide con la estimación presentada en nuestro trabajo en el apartado de medidas vasculares.

Nuestras mediciones siempre se llevaron a cabo con los pacientes en decúbito supino por lo que no podemos decir si existen variaciones entre la medición y la posición en Trendelemburg. Todos los vasos fueron medidos en condiciones de reposo y sin la realización de maniobras que pudieran aumentar la capacitancia vascular, salvo aquellos pacientes que precisaban ventilación mecánica con presión positiva.

Pensamos, que la variabilidad de estos resultados encontrados tanto en nuestro trabajo, como en las publicaciones revisadas sobre los vasos yugulares y su baja correlación respecto a otros vasos centrales como los femorales, puede ser debido a la dificultad técnica que existe en los niños para medir ecográficamente un vaso como es la VVI, que es fácilmente colapsable incluso a la presión de la sonda ecográfica, así como para colocar la sonda a nivel cervical, sobretodo en pacientes menores de 1 año por la limitación del espacio necesario para ubicar el transductor ecográfico y a la variabilidad del diámetro vascular en relación a la posición del paciente, dificultad para el retorno venoso y/o llenado vascular.

Un aspecto a destacar del presente trabajo fue la asignación de rangos a la profundidad y diámetro de los vasos femorales y yugulares. Esto permitió la descripción de las asociaciones más frecuentes para ambos vasos. Así, los vasos femorales en más de un 80% de los pacientes estudiados, se ubican en el rango de menor profundidad, es decir entre 0,5 y 1 cm, al igual que ocurre con los vasos yugulares que en un 90% de las ocasiones también se sitúan en este rango de profundidad. No se mantuvo este patrón en cuanto a la distribución por diámetros. Mientras los vasos femorales en más de un 50% de los casos presentaron un rango de diámetro mínimo, es decir entre 0,20 y 0,35 cm, los vasos yugulares presentaron en más de un 60% de las ocasiones un rango de diámetro máximo (entre 0,50 y 0,65 cm). Esta asociación podría justificar la

recomendación de la canalización por vía ecográfica de la VYI ya que en la mayoría de las ocasiones en el paciente pediátrico se dan las dos circunstancias más favorables a la misma, como son la ubicación superficial y el mayor diámetro vascular (41).

5.2.-MODELOS DE ENTRENAMIENTO EN CANALIZACIÓN VASCULAR ECOGUIADA

Tras la constatación de la utilidad de la ecografía vascular para la localización y medición del sistema vascular central en los pacientes pediátricos, planteamos el diseño de un modelo de simulación y entrenamiento en la técnica de CVE.

La simulación permite practicar una serie de habilidades necesarias para la realización de alguna técnica de la práctica clínica antes de ser utilizada directamente en los pacientes. Uno de los principales beneficios de los simuladores es el aumento en la seguridad del paciente y las mejoras en las competencias y habilidades exigidas en cada técnica. Esta mejora de competencia, repercute en mejores resultados clínicos (91).

Los modelos de entrenamiento en CVE, pueden ser variados, desde modelos comerciales, generalmente sintéticos, a modelos mixtos (sintéticos y biológicos) fabricados artesanalmente, como ya se comentó en la introducción del presente trabajo. Es importante familiarizarse con los mismos y tener experiencia en la punción y

canalización de venas centrales en el paciente pediátrico, para así poder valorar las ventajas e inconvenientes de cada modelo.

Sin lugar a dudas, el modelo ideal debería reproducir, con la mayor fidelidad posible, la estructura muscular y vascular del paciente pediátrico.

Tras valorar distintos modelos, el principal inconveniente que observamos, sobre todo en los modelos comerciales, era la textura del mismo, que producía una sensación poco real de la punción y canalización vascular. Además, la imagen vascular, generalmente muy esférica y con gran contraste respecto a la estructura muscular, difería de la visión ecográfica "in vivo" del sistema vascular del paciente pediátrico.

Los modelos sintéticos artesanales intentan obviar el excesivo contraste entre la estructura muscular y vascular añadiendo algún compuesto tipo mucílago a la gelatina, agar o silicona con la que se construye la estructura muscular. Sin embargo podemos citar como inconveniente los artefactos generados por la aguja de punción del tipo de "cola de cometa" y también las marcas del trayecto de anteriores punciones que pueden dificultar la repetición de la técnica tan necesaria e imprescindible para el entrenamiento.

Así mismo, los modelos, suelen ser generalmente rígidos en cuanto a la profundidad y diámetro vascular, lo que no refleja la realidad dinámica del paciente pediátrico que puede variar en peso,

talla y superficie corporal en base a un amplio rango de edad que abarca desde el nacimiento hasta los 14 o 16 años.

Tras ensayar con distintos materiales, tanto para la estructura muscular como para la estructura vascular, diseñamos nuestro modelo intentando minimizar los defectos anteriormente descritos en otros modelos y potenciando las ventajas de los mismos e incluso implementándolas.

Los objetivos a alcanzar fueron diseñar un modelo con la máxima semejanza en relación al paciente real, tanto en la visualización ecográfica de la estructura muscular y vascular como en la sensación obtenida al puncionar y canalizar el vaso, lograr su adaptación y flexibilidad de forma que permitiese simular las distintas profundidades y diámetros vasculares del paciente pediátrico, y por último conseguir que el modelo fuese fácilmente reproducible, resistente a múltiples punciones y con un bajo coste económico.

El modelo construido cumplió estos requisitos y obtuvo una excelente valoración global por parte de los alumnos que lo utilizaron en los talleres de CVE.

El tiempo necesario para el montaje del modelo y el coste económico del mismo los consideramos asequibles, permitiendo el adecuado entrenamiento en la CVE.

En el modelo diseñado, además de su versatilidad para poder realizar las simulaciones en los rangos de profundidades y diámetros vasculares deseados, presentamos una tabla de estimación del

diámetro vascular en base al estiramiento de la estructura tubular. Es cierto que el diámetro a alcanzar depende de muchos factores como pueden ser el material de la estructura tubular, la cantidad de líquido introducido en su interior, el coeficiente de elasticidad de la misma, el grosor de sus paredes, etc. A pesar de ello, utilizando el mismo tipo de estructura tubular de 12 cm de longitud y aplicando distintos grados de estiramiento de la misma se consiguió una predicción del diámetro final, medido por ecografía, con una correlación muy alta ($R=0,98$) en 180 ensayos realizados.

Por tanto, otro de los valores añadidos del presente modelo, es su reproductibilidad, considerando que otros operadores interesados en el entrenamiento en CVE van a poder realizar el modelo en similares condiciones o adaptándolas al material con el que lo diseñen, ya que nosotros presentamos un tipo de estructura tubular concreta, pero en el mercado existen distintos materiales, calidades, texturas, longitudes y diámetros de la misma. Es más, incluso una vez diseñado nuestro modelo y considerar que la mejor estructura muscular, en nuestra opinión, era la porción del músculo pectoral aviar, tras haber probado con distintos materiales sintéticos (silicona, gelatina, etc.) y biológicos (porción de embutido, región crural aviar, etc.) y que la mejor estructura vascular era la estructura tubular elástica (globo de modelaje) en relación a otros materiales, (poliuretano, silicona, teflón, metal, etc.), elegimos una marca determinada de estructura tubular elástica, porque consideramos que

era la que mejor reflejaba la sensación que se produce al realizar la punción en el paciente pediátrico.

Por ello, la presentación de nuestro modelo, trata de aportar globalmente un diseño, que cada operador podrá adaptar en las condiciones que considere mas adecuadas.

Publicaciones como la de Barsuk et al (92), presentan esta utilidad de los modelos de aprendizaje basados en la simulación para adquirir las habilidades en la inserción de un catéter venoso central y la prevalencia de las complicaciones relacionadas con la técnica en una UMI durante un periodo de un año. Ellos concluyen que los médicos residentes que realizaron el entrenamiento en los modelos de simulación tuvieron una tasa de éxito mucho mayor, menor número de punciones, y de forma significativa menor número de complicaciones, al compararlo con los médicos residentes que aprendieron la técnica por el método habitual de "ver y hacer", es decir, por observación de la misma, explicación no reglada y aplicación de la técnica.

Cuando nosotros aplicamos nuestro modelo de entrenamiento en operadores sin experiencia en la CVE (Grupo I), pero con experiencia en la canalización vascular a ciegas, ya sean vías periféricas, centrales de inserción periférica o centrales, obtuvimos una tasa de éxito global del 79,7% y en el grupo de operadores con experiencia (Grupo II y Grupo III) la tasa de éxito que se obtuvo fue de 96,1%. En un programa de formación de médicos residentes con

un modelo comercial para la CVE diseñado por Thomas et al (93), se observa una tasa similar de éxito al Grupo I de nuestra serie, un 80,8%.

Otros autores como Erickson et al (94), presentan un estudio en un modelo de simulación en CVE realizado por operadores con similar experiencia profesional a los de nuestro trabajo, y obtienen una tasa de éxito total de 100%. Esta diferencia puede ser debida al grado de dificultad que presenta cada modelo de simulación ya que el calibre del diámetro medio de los vasos puncionados en nuestra serie osciló entre 0,41 y 0,43 cm frente al de estos autores que fue de 0,56 cm. En nuestro estudio, concluimos, que una de las variables que influyen en la tasa de éxito en la canalización vascular es el tamaño de los vasos. Este hecho se constata así mismo cuando se compara a pacientes adultos con pediátricos debido a la diferencia del tamaño vascular y también dentro de los pacientes pediátricos en los diferentes rangos de edad y peso, presentando menor tasa de éxito en la CVE aquellos pacientes menores de 10 kg o menores de 1 año (79).

En el estudio de Panebianco et al (95) de una población de 169 pacientes adultos, objetivaron una tasa de éxito en la CVE de venas periféricas del 90% en 3 intentos. Esta disminuye por debajo del 56% en los vasos con un diámetro menor de 0,3 cm, alcanzando un 92% de éxito en los diámetros mayores a 0,6 cm. Estos autores concluyen que la probabilidad de éxito en la CVE aumenta en 1,79 por cada

milímetro de aumento del diámetro vascular y que la profundidad vascular presenta una disminución de la tasa de éxito a partir de 1,6 cm.

Los autores Nakayama et al (96) sugieren que la canalización de la arteria radial en niños guiada por ecografía es más rápida y se realiza con mayor confianza por parte de los operadores cuando la arteria se situaba entre 0,2 y 0,4 cm de profundidad, aunque estos autores no encontraron una asociación estadísticamente significativa en cuanto a la profundidad y tasa de éxito. En nuestro trabajo, el porcentaje de éxito en la CVE en el modelo de entrenamiento fue significativamente mayor a menor rango de profundidad (P1= 98,6% vs P2= 97,6% vs P3= 92%; $p=0,001$).

En cuanto al diámetro vascular, el trabajo de Ueda et al (97) concluye que el mayor diámetro se asocia de forma significativa a la tasa de éxito en un primer intento. Este resultado también se obtiene en nuestro modelo, donde el porcentaje de éxito fue más alto en los rangos de diámetro vascular mayor (D1= 99% vs D2= 97,6% vs D3= 91,7 %; $p<0,001$).

La tasa de éxito al primer intento en nuestro estudio osciló entre el 67% para los operadores sin experiencia y 89% para los operadores con experiencia en la técnica. Generalmente, el número de intentos se relaciona inversamente con el éxito en la técnica. Así, en nuestro estudio, el número de intentos fue significativamente

superior cuando no se consiguió la canalización vascular (1,14 vs 3,06; $p < 0,001$).

En cuanto al número de intentos realizado en el presente trabajo, éste osciló entre 1,8 y 1,2 según el grupo analizado sea de operadores sin experiencia o con experiencia en CVE. Similares resultados se obtienen en el trabajo de Thomas et al (93) realizado en modelo de entrenamiento en el que el número de intentos baja de 1,5 a 1 tras un periodo de formación y explicación de las nociones básicas de la técnica de CVE en los operadores participantes. En el paciente adulto, otras series estudiadas como la de Barsuk et al (92), describen la disminución del número de intentos de 1,74 en la técnica de canalización clásica "a ciegas", a 1,32 con la técnica de CVE.

El tiempo empleado para la canalización en nuestro modelo, fue de 87,7 s para el grupo de operadores sin experiencia frente a un tiempo medio de 36 s en el grupo de operadores con experiencia. Consideramos el tiempo de canalización desde el momento que la aguja punciona la piel hasta que se confirma la correcta ubicación de la guía de canalización dentro del vaso. La serie de Erickson et al (94), presenta un tiempo medio de penetración en el vaso de 11 s pero solo valoran el periodo de tiempo desde que la aguja penetra en la piel hasta la salida del líquido que contenía el vaso. Resultados parecidos obtienen otras series como la de Phelan et al (98) con unos tiempos de 17,56 s hasta el momento de aspirarse el líquido de la estructura vascular del modelo si se realizaba la técnica de CVE con

aguja ecorrefringente, respecto a 19,22 s si la técnica se realizaba con aguja normal de punción vascular. Es importante destacar, en el estudio anteriormente referenciado, el diámetro del vaso a canalizar de 0,8 cm, que correspondería por término medio a un paciente adulto, superior a los 0,65 cm del mayor rango de diámetro considerado en nuestro estudio. Además, al no incluir en el tiempo medido la canalización vascular, es decir la introducción de la guía o el catéter en el vaso, se está infraestimando el tiempo de canalización vascular, y es más, incluso se puede sobreestimar la tasa de éxito, porque en nuestro modelo hasta en un 4% de las ocasiones se punciona el vaso de forma adecuada pero posteriormente no es posible la canalización. Este hecho es evidente también en el paciente "in vivo" tanto con la técnica clásica "a ciegas" como con la técnica ecoguiada. Generalmente ocurre en vasos de pequeño calibre y que se han puncionado siguiendo una dirección muy perpendicular (por encima de 45°) respecto a la piel. En estas ocasiones, se puede optimizar la canalización vascular con la maniobra de CRG o de la aguja de punción que posteriormente analizaremos, aunque esta intervención no siempre es efectiva. En algunos casos se recomienda también la punción con el bisel de la aguja hacia abajo, al contrario de la técnica clásica de canalización o bien la separación del transductor ecográfico en el momento de realizar la punción con idea de disminuir el ángulo de incidencia sobre el vaso. En nuestro trabajo no se analizó la punción con bisel de aguja hacia abajo, pero si la

separación o no del transductor ecográfico al puncionar el vaso, no obteniendo diferencias significativas ni en la tasa de éxito ni en la de CRG.

Analizando otro de los parámetros estudiados en este trabajo objetivamos, que en relación al tiempo de canalización vascular y eje ecográfico de punción, el EO-EP fue el que presentó mayor tiempo empleado en la realización de la técnica, respecto al EL-EP y el ET-FP (44,1 s vs 37,3 s vs 39,1 s; $p < 0,01$) al igual que un mayor número de intentos (1,3 vs 1,2 vs 1,1; $p < 0,05$).

El eje ecográfico y el abordaje del vaso constituye un tema controvertido. En el presente estudio, el EL-EP y el ET-FP, asociaron una tasa de éxito significativamente más alta que el EO-EP (98,6% vs 96,9% vs 92,7%; $p < 0,01$). Menores tasas de éxito se describen en el estudio de Tassone et al (99), al compararlas con los resultados anteriormente expuestos. A pesar de ello, podemos constatar la misma tendencia, es decir, una mayor tasa de éxito para el EL-EP (83,3%) y ET-FP (70,8%), respecto al EO-EP (45,8%).

En el estudio de Vogel et al (100) realizado en un torso de maniquí y con operadores con escasa experiencia en la CVE se objetivó que las punciones realizadas en el EL-EP se asociaron a un descenso significativo en el número de redirecciones al puncionar el vaso. En nuestra serie obtuvimos resultados similares, ya que en el grupo de operadores sin experiencia la CRG se realizó en mayor proporción en el ET-EP con respecto al EL-EP. Estos resultados

también se confirmaron en el grupo de operadores con experiencia, donde la maniobra de CRG fue de forma significativa ($p < 0,001$) mayor en el EO-EP (45,8%) seguido del ET-FP (41,6%), siendo el EL-EP (12,7%) el que menos precisó de esta maniobra para facilitar la CVE en nuestro modelo de simulación. Por tanto, según los resultados obtenidos en estas series, se podría deducir que el EL-EP asocia una menor tasa de maniobra de CRG probablemente debido a que en este eje, es más fácil la visualización de la aguja al compararlo con el ET-EP.

En contraposición a estos resultados que acabamos de describir respecto a la menor tasa de CRG en el EL-EP encontramos tres estudios con resultados que difieren. Por una parte, en el estudio de Chittoodan et al (101), se objetiva mayor éxito en el primer intento y menor número de redirecciones de la aguja y guía si el abordaje empleado en la técnica de CVE es el ET-FP en vez del EL-EP. Los propios autores justifican los resultados a favor del ET-FP porque los operadores tienen ya experiencia previa en la CVE y han utilizado en su práctica clínica habitual más el ET-FP que el EL-EP, debido a que este último precisa una mayor coordinación "ojo-mano" y una mejor y más difícil alineación entre el eje mayor del vaso y el del transductor. Por otra parte, objetivamos en otros dos estudios (95,102), que no se constata ninguna diferencia significativa en los abordajes longitudinal ni transversal, así como tampoco en el número de redirecciones de la aguja y guía, por lo que no puede

aconsejar qué tipo de abordaje presenta mejores resultados a la hora de realizar esta técnica.

En cuanto a la tasa de éxito en un primer intento en relación al abordaje utilizado, encontramos dos autores (101,103) donde ésta fue mayor en el ET-FP al compararlo con el EL-EP. Nuestros resultados difieren en este caso, al igual que en la serie de Panebianco et al (95), donde tanto los operadores con experiencia como sin experiencia, obtienen similar tasa de éxito en el abordaje longitudinal al igual que en el transversal, presentando menor tasa de éxito al primer intento en el EO-EP.

Este último eje ecográfico para la canalización vascular, el EO-EP, fue descrito en 2009 por Phelan and Hagerty (104), como una alternativa al ET-FP y al EL-EP implementando las ventajas de ambos ejes. Sin embargo, sus resultados han sido controvertidos.

Así, en la serie de Tassone et al (99), no solo se recogió una tasa de éxito menor al primer intento para el EO-EP, sino también un mayor tiempo de aspiración del líquido del vaso (12,5 s) respecto al ET-FP (9,5 s) y al EL-EP (9,7 s). No existen muchos estudios en la bibliografía sobre el EO-EP por ser la técnica de abordaje para la CVE más recientemente incorporada. En base a los resultados anteriormente expuestos, se deduciría que este eje presenta peores resultados y mayor dificultad técnica al compararlo con los otros dos. Sin embargo, pensamos, al igual que otros autores (99,105), que

este eje no se puede descartar, y debe ser considerado como una opción más en determinadas circunstancias de dificultad en la canalización vascular. Así mismo, es posible que los resultados poco favorables a favor de él sean probablemente debidos a su menor utilización y adquisición de habilidades técnicas, al ser un eje novedoso en la práctica clínica.

En relación a los resultados anteriormente expuestos no disponemos de un nivel de evidencia para recomendar el mejor eje y abordaje para la técnica de CVE. Cada uno tiene sus ventajas e inconvenientes y sería lógico afirmar que la elección del eje y tipo de abordaje utilizado dependerá más de la experiencia y destreza de cada operador en la técnica de CVE, características antropométricas del paciente y del tamaño del vaso y de la sonda a utilizar, más que del propio eje o abordaje en sí. Nosotros aconsejamos el aprendizaje de los tres tipos de técnicas de CVE y posteriormente elegir el eje ideal según las circunstancias anteriormente descritas, valorando los beneficios e inconvenientes de cada uno de los ejes y abordajes.

Otro apartado importante durante la realización de la técnica de CVE es la visión de la aguja. Existen pocos estudios sobre la visión ecográfica de la aguja. Fundamentalmente se aborda este tema en relación al eje ecográfico en el que mejor se visualiza.

La tasa de visualización de la aguja es un tema controvertido y muy subjetivo ya que durante la técnica puede visualizarse en un

momento y en otro no, o ser confundida con el refuerzo posterior originado por estructuras anecoicas (como las venas y arterias), o con la sombra acústica originada por la aguja de punción como reflejo de su avance, e incluso varios observadores pueden tener diferentes resultados a la hora de valorar la visión de la aguja en un mismo paciente o modelo. Es por ello que nuestro grupo abordó el tema dividiendo esta variable en 3 categorías: visión completa de la aguja (VCA), visión parcial de la aguja (VPA) o no visión de la misma (NVA) durante la realización de la técnica. Además, la determinación de la visión o no de la aguja fue realizada por el operador con mayor experiencia en la técnica en un intento de limitar la subjetividad anteriormente referida.

En nuestro trabajo, en el grupo de operadores sin experiencia la aguja no se visualizó en un 16% de los casos respecto a un 4% en los operadores con experiencia. En este último grupo cabe destacar la tasa de VA mayor en los EO-EP y EL-EP.

Diversos estudios muestran que el control visual a tiempo real de la punta de la aguja en la CVE aumenta la seguridad de la técnica y como consecuencia de ello pueden disminuir las complicaciones. Por tanto, conseguir la VA en la CVE sería uno de los objetivos cruciales para la seguridad de los pacientes como afirman Chin et al (106) y Moak et al (107).

Para mejorar la VA se han utilizado agujas con realce ecogénico o ecorrefringentes (108), equipos con posibilidad de redireccionar el

haz de ultrasonidos para lograr su mayor perpendicularidad con respecto al eje de la aguja (109), y la recomendación de la utilización del EL-EP.

Se recoge en la serie de Stone et al (110), que la utilización del EL-EP en la CVE se asocia con una mejor visibilidad de la punta de la aguja durante la punción del vaso. Estos autores concluyen que la VA en el EL-EP fue de 62% con respecto al 23% en el ET-FP. En nuestra serie la VA fue también mayor en el EL-EP, tanto en los operadores sin experiencia (59% EL-EP vs 39% ET-FP), como en los operadores con experiencia (EL-EP 82,3% vs ET-FP 57,3%). Estos resultados son lógicos, ya que la principal ventaja de este eje es la mejor visión del trayecto de la aguja, aunque esto no siempre se consigue pues se necesita mayor destreza en el uso de la técnica ecográfica a través de una perfecta alineación del eje de la aguja y del eje mayor del vaso y del transductor de ultrasonidos. Por este motivo, y como se objetiva en los resultados de nuestra serie, los operadores con mayor experiencia visualizan mejor la aguja en algún momento del procedimiento en el EL-EP.

Como ya describimos anteriormente, en nuestro estudio clasificamos la VA en VCA y VPA, obteniendo una tasa de VCA mayor en los operadores con experiencia en la técnica al compararla con el grupo sin experiencia (73,7% vs 41,7%). En cambio, cuando estudiamos los resultados de la VPA registramos que es de un 42%

en operadores sin experiencia, mientras que es de un 22% en operadores con experiencia. Esta menor tasa en los operadores experimentados se compensa por la mayor tasa de VCA anteriormente expuesta. Dado que la VPA está descrita como la posible visualización de la punta de la aguja en algún momento de su recorrido, no podemos objetivar si esto es realmente así o si se debe a artefactos generados por imágenes que aparecen en el monitor pero que no se corresponden con los ecos generados por la aguja de punción.

Estos artefactos, ocasionados por el paso del haz de ultrasonidos por interfases que transmiten el sonido a velocidades distintas como puede ser la grasa y el músculo, los reflectores anisótropos debido a que los tejidos muestran propiedades diferentes al paso de los ultrasonidos según la angulación del transductor ecográfico y el refuerzo acústico posterior, producido por el paso del haz de ultrasonidos por tejidos con baja atenuación, pueden ser difíciles de reconocer por los operadores y son confundidos con la punta de la aguja sobre todo para los operadores con menos experiencia como muestra el estudio de Reusz et al (111). Por ello es importante conocerlos para favorecer la seguridad de la técnica, sobre todo ante las manipulaciones realizadas sobre la aguja para evitar que no deriven en complicaciones.

Por tanto, la identificación exacta de la punta de la aguja, sería el objetivo a alcanzar para continuar visualizando el avance de la

aguja hacia la estructura vascular. Sin embargo, el hecho de ser técnicamente difícil y sus implicaciones sobre la seguridad en el momento de realizar la punción hace que sea uno de los aspectos más frustrantes al iniciar el acercamiento a la técnica de CVE "in vivo", tras el entrenamiento en los modelos de simulación debido a la menor dificultad para su visualización en estos.

En la serie de Moak et al (107), la tasa de VA según los operadores fue de un 66%, pero al revisarla por operadores expertos tras grabaciones realizadas de la técnica se objetivó que la tasa real era de tan solo un 6%. Esto pone de manifiesto el hecho de que a la hora de realizar la CVE, muchas veces, no es posible ver la punta de la aguja dentro de la luz vascular, por lo que se precisa un entrenamiento mayor para conseguir este objetivo debido a que la VA se asocia con una tasa de éxito mayor, menor número de intentos para la canalización y menor duración en la realización del procedimiento; factores todos ellos favorecedores de la seguridad de la técnica de CVE, como se demuestra en nuestra serie.

Otro de los beneficios recogidos en la literatura que aporta la ecografía a la CVE es la disminución en la tasa de complicaciones ya que disminuye la punción de un vaso no deseado, la perforación vascular y el desarrollo de fístulas, hematomas y hemorragias. Además, en los paciente neonatales y lactantes, existe el riesgo de punción accidental de la cabeza femoral y su necrosis avascular como complicación más grave durante el procedimiento, que se puede

minimizar mediante la punción femoral ecoguiada como observamos en el estudio de Chiang et al (14).

Así mismo, se ha descrito la disminución de la punción pleural accidental y el desarrollo de neumotórax, sobre todo en las canalizaciones de la VVI. No se obtienen los mismos resultados en la canalización de la vena subclavia e incluso algunos autores como Basuk et al (92) presentan una tasa superior de neumotórax respecto a la canalización con técnica clásica por referencia anatómica. Quizá esto se pueda justificar en base a que técnicamente es más difícil la CVE de la vena subclavia, debido a la cercanía de la pleura y la arteria subclavia, junto a los movimientos de excursión torácica respiratorios que impiden la imagen estática vascular y conllevan continuos ajustes del eje de transductor para su correcta visualización.

En el estudio de Iwashima et al (112), se evalúa el beneficio de la CVE comparándola con la técnica a ciegas en la canalización de la VF en pacientes pediátricos y encontraron que la punción accidental de la AF ocurre en un 7% de los pacientes pediátricos cuando se utiliza la ecografía en relación a un 32% al hacerlo según referencia anatómica. Esta tasa tan alta de punción arterial puede ser debida probablemente, como apunta otro estudio realizado por Suk et al (113), a las variaciones anatómicas que presentan los vasos, que pueden llegar a una tasa de superposición entre arteria y vena

femoral en niños de hasta un 74% según el grado de abducción de la pierna sobre la cadera y según la localización ecográfica se realice por encima o por debajo del ligamento inguinal. Igualmente ocurre a nivel de los vasos cervicales, pudiendo la arteria carótida interna superponerse a la VYI o presentar ésta variantes anatómicas en su relación con la arteria carótida interna de hasta un 54% (114). Por eso se recomienda el uso de los ultrasonidos para conocer y visualizar las posiciones de los vasos y su relación con el resto de las estructuras cercanas. Así, antes de realizar la punción, se debe realizar una previsualización para determinar variantes anatómicas, asimetrías de profundidad o diámetro vascular y complicaciones existentes en los vasos, como trombos o hematomas.

Como a anteriormente se referenció, autores como Stone et al (110), inciden en la importancia del control de la punta de la aguja de punción para disminuir la tasa de complicaciones vasculares, porque la imposibilidad de mantener la visualización de la punta de la aguja puede contribuir a la punción inadvertida de estructuras anatómicas vitales, fallo en el intento de canalización vascular así como la punción de la pared posterior del vaso.

Revisando la serie de Vogel et al (100) de pacientes adultos, objetivamos que la prevalencia de punción en la pared posterior de la VYI fue de 25% en el ET-FP y 21 % en el EL-EP.

En el estudio pediátrico de Song et al (115), la tasa de punción

de la pared posterior de la arteria radial o tibial posterior fue significativamente más elevada en la canalización en el ET-FP que en el EL-EP (95,7% vs 18%).

Otras series como la de Blaivas et al (116), evalúan la frecuencia de punción de la pared posterior de la vena yugular en un torso de maniquí realizado por operadores sin experiencia. Se objetivó que, el 64% de los operadores puncionaron de forma accidental la pared posterior de la vena yugular durante la canalización. En el estudio de Moon et al (117), donde se estudió la incidencia de punción de la pared posterior de un vaso (de 0,8 cm de diámetro y 1,5 cm de profundidad) en un modelo de gelatina y llevado a cabo por operadores con diferentes grado de experiencia en la CVE, se produjo en un 34% de los casos, sin existir asociación entre la tasa de perforación y la mayor o menor experiencia del operador en la CVE.

En nuestro modelo, recogimos también los resultados de la perforación del vaso y la mala posición de la guía y se objetivó que la tasa de perforación vascular en el grupo de los operadores sin experiencia era de 26,3% y en el grupo de operadores con experiencia fue de 13,2%. Aunque la tasa de punción de la pared posterior en nuestro trabajo es inferior a la de otros estudios, nuestros resultados podrían estar infraestimados, ya que muchas veces se produce la perforación de la pared posterior vascular y pasa

desapercibida si la canalización finalmente es exitosa. Es decir, se pudo producir la perforación del vaso en casos en que la canalización se consiguió finalmente tras realización de maniobra de retirada progresiva de la aguja. Así mismo, en nuestro estudio no valoramos si estaban puncionadas las dos paredes de la estructura vascular al analizar el modelo, solo comprobamos si la guía atravesaba la pared posterior de la estructura vascular bien porque se visualizaba ecográficamente o bien porque se objetivaba su aparición por la zona dorsal de la estructura muscular. Por el contrario en el estudio referido anteriormente (117), tras finalizar la serie de punciones, valoraban si la perforación de la estructura vascular se había producido. Para ello deshacían el modelo y llenaban de nuevo de líquido la estructura vascular. Posteriormente evidenciaban si la salida de líquido se producía por una sola cara o por las dos caras, confirmando la perforación de la pared posterior de la estructura vascular si presentaba salida de líquido por dos orificios. En nuestro estudio no realizamos esta comprobación y quizás si se hubiese llevado a cabo tendríamos una tasa de perforación de pared posterior mayor a la descrita.

Al avalar todos estos estudios la práctica de la ecografía para la CVE nosotros proponemos nuestro modelo de simulación biológico como un modelo que sirva para el entrenamiento y optimización de la curva de aprendizaje para todos aquellos operadores que necesiten familiarizarse con esta técnica.

La aceptación por parte de los alumnos del modelo presentado dentro del programa de formación en CVE fue alta. Obtuvimos una valoración adecuada en cuanto a la fidelidad global del modelo de punción respecto a la punción "*in vivo*" en los pacientes pediátricos del 87,2%. Además, el apartado mejor valorado con un 92,8% de aceptación fue que el modelo diseñado es adecuado para el entrenamiento en CVE y su posterior utilización en los pacientes pediátricos. Como contrapunto podríamos citar que los alumnos sólo utilizaron nuestro modelo de simulación y no tuvieron un referente para su comparación.

Una de las ventajas que consideramos, además de las propias de este tipo de modelos, y que no encontramos en otros modelos biológicos, son los diferentes grados de dificultad que introducimos al establecer los diferentes rangos de profundidad y diámetro haciendo así el modelo más parecido a la realidad. Además, el modelo presentado, puede ir aumentando en complejidad y dificultad, al igual que ocurre en los pacientes pediátricos, haciendo más difícil la técnica a través de la colocación de vasos superpuestos, o muy cercanos, o bien introduciendo líquido en la estructura muscular, simulando la sobrecarga hídrica o edema intersticial del paciente pediátrico ingresado en la UMIP o por el contrario disminuyendo la cantidad de líquido de la estructura vascular de forma que las paredes de la misma estén muy próximas como ocurre en los niños deshidratados. Es decir, llevando al modelo las situaciones clínicas

reales del paciente pediátrico crítico.

5.3.- CURVA DE APRENDIZAJE

Se desconocen los requisitos mínimos de formación necesarios para poder utilizar la ecografía en la canalización vascular por aquellos especialistas que canalizan vasos centrales, al igual que se desconoce cuantas canalizaciones vasculares a ciegas se deben realizar para adquirir la destreza necesaria en esta técnica. Aunque las habilidades personales influyen en los resultados de la realización de cada una de las técnicas de la práctica médica, parece evidente que a mayor experiencia se obtendrán mejores resultados.

Las habilidades en la utilización de la ecografía vienen dadas por la práctica y la frecuencia de uso como apunta Chen et al (30). En nuestra serie, la tasa de éxito en la CVE en el modelo de entrenamiento fue significativamente mayor en el operador con mas experiencia en la técnica (98,4% vs 93,8%; $p < 0,001$). Así mismo, la tasa de VA y la tasa de éxito global y al primer intento fue significativamente menor en el grupo sin experiencia. Estos resultados también se constatan al comparar a los dos operadores con distinto grado de experiencia siendo la VA mayor en el GIII, presentando éste, menor necesidad de CRG, menor tasa de PV/MPG y menor tiempo de canalización y número de intentos respecto al GII.

Al comparar también los dos bloques de series de simulaciones realizadas por los operadores con experiencia podemos observar como en la serie final la tasa de CRG, el tiempo empleado en la canalización y el número de intentos desciende de forma significativa con respecto a la primera serie. Estas tres variables de mejora en la serie final son importantes para disminuir el número de complicaciones asociadas a la técnica. Por tanto, creemos que la implantación de un programa de formación en la CVE mediante un modelo de simulación podría ser beneficioso para los pacientes pediátricos.

Sin embargo, es difícil establecer qué tipo de programa de entrenamiento para la CVE en modelos de simulación ofrecería mejores resultados. Según la revisión realizada se destaca la importancia no tanto del número de punciones que se deben realizar en el modelo de entrenamiento para poder llevarlas a cabo posteriormente "*in vivo*", sino la existencia de un programa de formación y su realización y reciclaje periódico para consolidar las habilidades y destrezas alcanzadas y llevadas de forma inmediata al paciente. En relación a estos aspectos, en el estudio realizado por Vieira et al (118), se objetivó que la tasa máxima de éxito de CVE en los pacientes coincidió con la puesta en marcha de un programa de entrenamiento de esta técnica que consistió en una hora de clase teórica, donde se explicaban los principios básicos de la ecografía y utilización de los equipos para la canalización vascular, seguido del

uso práctico de la canalización de un vaso por ecografía en un modelo de gelatina. En el estudio de Thomas et al (93), demuestra que el entrenamiento de los residentes en la canalización de una vía venosa central mediante la simulación, mejora los resultados y la adquisición de habilidades en dicha técnica. Sin embargo, si se vuelve a evaluar la técnica 3 meses más tarde, las habilidades adquiridas previamente, la protocolización y la asepsia disminuyen de forma significativa en aquellos médicos que no han seguido realizando la técnica habitualmente. Por tanto, este estudio recomienda que la simulación debería producirse cerca del momento de la realización de los procedimientos clínicos y que además el entrenamiento debería de repetirse periódicamente, ya que prevendría del deterioro de las habilidades adquiridas y permitiría una automatización de los conocimientos adquiridos.

La mayoría de autores concluyen que el entrenamiento y la experiencia en la técnica de CVE mejoran la tasa de éxito (119). Este entrenamiento debe estar protocolizado y dotado de un contenido teórico y práctico adaptado a las peculiaridades del paciente pediátrico. En este apartado Feller-Kopman et al (120) inciden en la necesidad de la simulación para la CVE. Según estos autores los aspectos básicos del entrenamiento para la CVE serían tener unos conocimientos básicos acerca de la física de los ultrasonidos, conseguir el aprendizaje y familiarización con los equipos de ecografía y las imágenes obtenidas, adquirir el manejo adecuado de la sonda

ecográfica, estar familiarizado con la sonoanatomía de las estructuras vasculares y conocer las limitaciones de la técnica y las dificultades en la misma.

Generalmente se trata de una curva de aprendizaje progresiva donde la rapidez y la competencia que se obtienen aumentan progresivamente con el entrenamiento y la experiencia. Sin embargo, si el entrenamiento no es adecuado, la ecografía no mejora la técnica de canalización a ciegas y su uso puede ser perjudicial.

Coincidimos con Costello et al (121), que existe una curva de aprendizaje asociada a las técnicas de canalización vascular, tanto en la clásica "a ciegas" según referencia anatómica, como en la guiada por ecografía. En los pacientes pediátricos esta curva de aprendizaje se acentuaría aún más en relación a los adultos, dadas las peculiaridades de los niños y las dificultades técnicas. Por tanto, la experiencia de los operadores es fundamental para realizar cualquier técnica y en el paciente pediátrico el entrenamiento y las competencias de las habilidades técnicas son más difíciles de mantener debido a las limitaciones inherentes y a la disminución del número de oportunidades para la realización de los procedimientos, respecto al paciente adulto. Por este motivo la simulación para aprender, integrar y mantener las habilidades propias de la técnica juega un papel insustituible.

CONCLUSIONES

6.- CONCLUSIONES

1.- El modelo de entrenamiento diseñado para la canalización vascular ecoguiada en el paciente pediátrico, permite simular la estructura muscular y vascular, se adapta al amplio rango de edades pediátricas en cuanto a variaciones de profundidad y diámetros de los vasos de los niños, es fácilmente reproducible con un bajo coste económico y con una buena fidelidad respecto a la punción en el paciente *"in vivo"* y posibilita la valoración de los distintos ejes de abordaje ecográficos así como las maniobras facilitadoras de la canalización vascular ecoguiada.

2.- La ecografía vascular proporciona el conocimiento de la localización, profundidad y diámetro de los vasos en el paciente pediátrico. Esto nos permite elegir el vaso más indicado para realizar su canalización vascular ecoguiada en cualquiera de los ejes y abordajes ecográficos más comunes.

3.- La estimación de los modelos predictivos de la profundidad y diámetro vascular en el paciente pediátrico es realizado en relación a variables demográficas y antropométricas, siendo más exacta a nivel de los vasos femorales.

4.- El modelo de entrenamiento diseñado para la canalización vascular ecoguiada, es evaluado de forma positiva por los operadores sin experiencia, tanto en la semejanza en relación al paciente real, en la visualización ecográfica de la estructura muscular y vascular como en la sensación obtenida al puncionar y canalizar el vaso.

5.- La canalización vascular ecoguiada en el modelo de entrenamiento utilizado, presenta una alta tasa de éxito que se optimiza con la maniobra de reubicación de la guía y una alta tasa de visualización de la aguja de punción. La tasa de éxito se asocia a la profundidad y diámetro del vaso y al eje de punción abordado, siendo la menor tasa de éxito a mayor profundidad vascular, menor diámetro del vaso y eje ecográfico de punción oblicuo en plano.

6.- La canalización vascular ecoguiada en el modelo diseñado, permite la optimización de la curva de aprendizaje en la técnica. Esto proporciona a los diferentes operadores un entrenamiento en el procedimiento para intentar paliar las complicaciones de una técnica nueva aplicada al paciente pediátrico. Así se pretende, disminuir el número de intentos y el tiempo de canalización, aportando un valor añadido a la técnica de canalización vascular.

7.- La curva de aprendizaje de la canalización vascular ecoguiada, se estableció en base a la experiencia del operador y se asoció a una mayor tasa de éxito, menor tasa de complicaciones, menor tiempo de ejecución y menor número de intentos de canalización. También se objetivó que, en el grupo sin experiencia, la tasa de reubicación de la guía, de perforación o mala posición de la guía, el número de intentos para la canalización y el tiempo empleado en la realización de la técnica fue significativamente mayor al compararla con el grupo de operadores con experiencia en la canalización vascular ecoguiada.

BIBLIOGRAFÍA

7.- BIBLIOGRAFÍA

1. George Stephen Bause. History of Cardiovascular Monitoring. An Historical Backdrop to Cardiovascular Monitoring. Anesthesiology Clinics of North America. Diciembre de 1988;Vol ume 6,.
2. Aubaniac R. [Subclavian intravenous injection; advantages and technic]. Presse Med. 25 de octubre de 1952;60(68):1456.
3. Seldinger SI. Catheter replacement of the needle in percutaneous arteriography; a new technique. Acta Radiol. Mayo de 1953;39(5):368-76.
4. Farinas PL. Retrograde abdominal aortography; a contribution to the study of the abdominal aorta and iliac arteries. Radiology. Octubre de 1946;47(4):344-8.
5. Hermosura B, Vanags L, Dickey MW. Measurement of Pressure During Intravenous Therapy. JAMA J Am Med Assoc. 1966;195(4):321-321.
6. Hoshal VL. Total intravenous nutrition with peripherally inserted silicone elastomer central venous catheters. Arch Surg Chic Ill 1960. Mayo de 1975;110(5):644-6.
7. Stewart RD, Sanislow CA. Silastic intravenous catheter. N Engl J Med. 28 de diciembre de 1961;265:1283-5.

8. Quinton WE, Dillard DH, Cole JJ, Scribner BH. Eight months' experience with silastic-teflon bypass cannulas. *Trans - Am Soc Artif Intern Organs*. 1962;8:236-45.
9. Swan HJ, Ganz W, Forrester J, Marcus H, Diamond G, Chonette D. Catheterization of the heart in man with use of a flow-directed balloon-tipped catheter. *N Engl J Med*. 27 de agosto de 1970;283(9):447-51.
10. Shaldon S, Chiandussi L, Higgs B. Haemodialysis by percutaneous catheterisation of the femoral artery and vein with regional heparinisation. *Nephrol Dial Transplant*. 2011;26(10):3073-4.
11. Broviac JW, Cole JJ, Scribner BH. A silicone rubber atrial catheter for prolonged parenteral alimentation. *Surg Gynecol Obstet*. Abril de 1973;136(4):602-6.
12. Fogarty TJ. The balloon catheter in vascular surgery. *Rev Surg*. Febrero de 1967;24(1):9-19.
13. Hickman RO, Buckner CD, Clift RA, Sanders JE, Stewart P, Thomas ED. A modified right atrial catheter for access to the venous system in marrow transplant recipients. *Surg Gynecol Obstet*. Junio de 1979;148(6):871-5.

14. Chiang VW, Baskin MN. Uses and complications of central venous catheters inserted in a pediatric emergency department. *Pediatr Emerg Care*. Agosto de 2000;16(4):230-2.
15. Orlowski JP. My kingdom for an intravenous line. *Am J Dis Child* 1960. Septiembre de 1984;138(9):803.
16. Larsen P, Eldridge D, Brinkley J, Newton D, Goff D, Hartzog T, et al. Pediatric peripheral intravenous access: does nursing experience and competence really make a difference? *J Infus Nurs Off Publ Infus Nurses Soc*. Agosto de 2010;33(4):226-35.
17. Yen K, Riegert A, Gorelick MH. Derivation of the DIVA score: a clinical prediction rule for the identification of children with difficult intravenous access. *Pediatr Emerg Care*. Marzo de 2008;24(3):143-7.
18. Rauch D, Dowd D, Eldridge D, Mace S, Schears G, Yen K. Peripheral difficult venous access in children. *Clin Pediatr (Phila)*. Noviembre de 2009;48(9):895-901.
19. Hatfield A, Bodenham A. Portable ultrasound for difficult central venous access. *Br J Anaesth*. Junio de 1999;82(6):822-6.
20. O'Neill MB, Dillane M, Hanipah NFA. Validating the difficult intravenous access clinical prediction rule. *Pediatr Emerg Care*. Diciembre de 2012;28(12):1314-6.

21. De Graaff JC, Cuper NJ, Mungra R a. A, Vlaardingerbroek K, Numan SC, Kalkman CJ. Near-infrared light to aid peripheral intravenous cannulation in children: a cluster randomised clinical trial of three devices. *Anaesthesia*. Agosto de 2013;68(8):835-45.
22. Haas NA. Clinical review: vascular access for fluid infusion in children. *Crit Care Lond Engl*. Diciembre de 2004;8(6):478-84.
23. Schummer W, Schummer C, Rose N, Niesen W-D, Sakka SG. Mechanical complications and malpositions of central venous cannulations by experienced operators. A prospective study of 1794 catheterizations in critically ill patients. *Intensive Care Med*. Junio de 2007;33(6):1055-9.
24. Froehlich CD, Rigby MR, Rosenberg ES, Li R, Roerig P-LJ, Easley KA, et al. Ultrasound-guided central venous catheter placement decreases complications and decreases placement attempts compared with the landmark technique in patients in a pediatric intensive care unit. *Crit Care Med*. Marzo de 2009;37(3):1090-6.
25. Maecken T, Grau T. Ultrasound imaging in vascular access. *Crit Care Med*. Mayo de 2007;35(5 Suppl):S178-185.
26. Hind D, Calvert N, McWilliams R, Davidson A, Paisley S, Beverley C, et al. Ultrasonic locating devices for central venous cannulation: meta-analysis. *BMJ*. 16 de agosto de 2003;327(7411):361.

27. Eisen LA, Narasimhan M, Berger JS, Mayo PH, Rosen MJ, Schneider RF. Mechanical complications of central venous catheters. *J Intensive Care Med*. Febrero de 2006;21(1):40-6.
28. Hall AP, Russell WC. Toward safer central venous access: ultrasound guidance and sound advice. *Anaesthesia*. Enero de 2005;60(1):1-4.
29. Yen K, Gorelick MH. Ultrasound applications for the pediatric emergency department: a review of the current literature. *Pediatr Emerg Care*. Junio de 2002;18(3):226-34.
30. Chen L, Baker MD. Novel applications of ultrasound in pediatric emergency medicine. *Pediatr Emerg Care*. Febrero de 2007;23(2):115-123-126.
31. Levy JA, Noble VE. Bedside ultrasound in pediatric emergency medicine. *Pediatrics*. Mayo de 2008;121(5):e1404-1412.
32. Renter Valdovinos L, Oulego Erroz I, Grupo de Trabajo de Ecografía de la Sociedad Española de Cuidados Intensivos Pediátricos. [Bedside ultrasound in the critically ill paediatric patient]. *An Pediatr Barc Spain* 2003. Septiembre de 2016;85(3):117-8.
33. Manno E, Navarra M, Faccio L, Motevallian M, Bertolaccini L, Mfochivè A, et al. Deep impact of ultrasound in the intensive care

- unit: the «ICU-sound» protocol. *Anesthesiology*. Octubre de 2012;117(4):801-9.
34. Hourmozdi JJ, Markin A, Johnson B, Fleming PR, Miller JB. Routine Chest Radiography Is Not Necessary After Ultrasound-Guided Right Internal Jugular Vein Catheterization. *Crit Care Med*. Septiembre de 2016;44(9):e804-808.
35. Gallagher RA, Levy JA. Advances in point-of-care ultrasound in pediatric emergency medicine. *Curr Opin Pediatr*. Junio de 2014;26(3):265-71.
36. Ullman JI, Stoelting RK. Internal jugular vein location with the ultrasound Doppler blood flow detector. *Anesth Analg*. Febrero de 1978;57(1):118.
37. Legler D, Nugent M. Doppler localization of the internal jugular vein facilitates central venous cannulation. *Anesthesiology*. Mayo de 1984;60(5):481-2.
38. Yonei A, Nonoue T, Sari A. Real-time ultrasonic guidance for percutaneous puncture of the internal jugular vein. *Anesthesiology*. Junio de 1986;64(6):830-1.
39. Jaques PF, Mauro MA, Keefe B. US guidance for vascular access. Technical note. *J Vasc Interv Radiol JVIR*. Mayo de 1992;3(2):427-30.

40. LaRue GD. Efficacy of ultrasonography in peripheral venous cannulation. *J Intraven Nurs Off Publ Intraven Nurses Soc*. Febrero de 2000;23(1):29-34.
41. Guidance-on-the-use-of-ultrasound-locating-devices-for-placing-central-venous-catheters-2294585518021[Internet]. Disponible en:
<https://www.nice.org.uk/guidance/ta49/resources/guidance-on-the-use-of-ultrasound-locating-devices-for-placing-central-venous-catheters-2294585518021>
42. Miller AH, Roth BA, Mills TJ, Woody JR, Longmoor CE, Foster B. Ultrasound guidance versus the landmark technique for the placement of central venous catheters in the emergency department. *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med*. Agosto de 2002;9(8):800-5.
43. Leung J, Duffy M, Finckh A. Real-time ultrasonographically-guided internal jugular vein catheterization in the emergency department increases success rates and reduces complications: a randomized, prospective study. *Ann Emerg Med*. Noviembre de 2006;48(5):540-7.
44. Au AK, Rotte MJ, Grzybowski RJ, Ku BS, Fields JM. Decrease in central venous catheter placement due to use of ultrasound

- guidance for peripheral intravenous catheters. *Am J Emerg Med*. Noviembre de 2012;30(9):1950-4.
45. Pittiruti M, Hamilton H, Biffi R, MacFie J, Pertkiewicz M, ESPEN. ESPEN Guidelines on Parenteral Nutrition: central venous catheters (access, care, diagnosis and therapy of complications). *Clin Nutr Edinb Scotl*. Agosto de 2009;28(4):365-77.
46. De Jonge RCJ, Polderman KH, Gemke RJJ. Central venous catheter use in the pediatric patient: mechanical and infectious complications. *Pediatr Crit Care Med J Soc Crit Care Med World Fed Pediatr Intensive Crit Care Soc*. Mayo de 2005;6(3):329-39.
47. Bruzoni M, Slater BJ, Wall J, St Peter SD, Dutta S. A prospective randomized trial of ultrasound- vs landmark-guided central venous access in the pediatric population. *J Am Coll Surg*. Mayo de 2013;216(5):939-43.
48. Alderson PJ, Burrows FA, Stemp LI, Holtby HM. Use of ultrasound to evaluate internal jugular vein anatomy and to facilitate central venous cannulation in paediatric patients. *Br J Anaesth*. Febrero de 1993;70(2):145-8.
49. Aouad MT, Kanazi GE, Abdallah FW, Moukaddem FH, Turbay MJ, Obeid MY, et al. Femoral vein cannulation performed by residents: a comparison between ultrasound-guided and landmark technique

- in infants and children undergoing cardiac surgery. *Anesth Analg*. Septiembre de 2010;111(3):724-8.
50. Warkentine FH, Clyde Pierce M, Lorenz D, Kim IK. The anatomic relationship of femoral vein to femoral artery in euvoletic pediatric patients by ultrasonography: implications for pediatric femoral central venous access. *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med*. Mayo de 2008;15(5):426-30.
51. Hopkins JW, Warkentine F, Gracely E, Kim IK. The anatomic relationship between the common femoral artery and common femoral vein in frog leg position versus straight leg position in pediatric patients. *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med*. Julio de 2009;16(7):579-84.
52. Pede S, Uguccioni M. [AHCPR/AHRQ guidelines. Agency for Health Care Policy and Research and Agency for Health Care Research and Quality]. *Ital Heart J Off J Ital Fed Cardiol*. Abril de 2001;2 Suppl 1:60-8.
53. Verghese ST, McGill WA, Patel RI, Sell JE, Midgley FM, Ruttimann UE. Ultrasound-guided internal jugular venous cannulation in infants: a prospective comparison with the traditional palpation method. *Anesthesiology*. Julio de 1999;91(1):71-7.

54. Verghese ST, McGill WA, Patel RI, Sell JE, Midgley FM, Ruttimann UE. Comparison of three techniques for internal jugular vein cannulation in infants. *Paediatr Anaesth*. 2000;10(5):505-11.
55. Leyvi G, Taylor DG, Reith E, Wasnick JD. Utility of ultrasound-guided central venous cannulation in pediatric surgical patients: a clinical series. *Paediatr Anaesth*. Noviembre de 2005;15(11):953-8.
56. Gordon JA, Wilkerson WM, Shaffer DW, Armstrong EG. «Practicing» medicine without risk: students' and educators' responses to high-fidelity patient simulation. *Acad Med J Assoc Am Med Coll*. Mayo de 2001;76(5):469-72.
57. Farjad Sultan S, Shorten G, Iohom G. Simulators for training in ultrasound guided procedures. *Med Ultrason*. Junio de 2013;15(2):125-31.
58. Troianos CA, Hartman GS, Glas KE, Skubas NJ, Eberhardt RT, Walker JD, et al. Special articles: guidelines for performing ultrasound guided vascular cannulation: recommendations of the American Society of Echocardiography and the Society Of Cardiovascular Anesthesiologists. *Anesth Analg*. Enero de 2012;114(1):46-72.

59. Davidson IJA, Yoo MC, Biasucci DG, Browne P, Dees C, Dolmatch B, et al. Simulation training for vascular access interventions. *J Vasc Access*. Septiembre de 2010;11(3):181-90.
60. 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*. Julio de 2012;38(7):1105-17.
61. Hocking G, Hebard S, Mitchell CH. A review of the benefits and pitfalls of phantoms in ultrasound-guided regional anesthesia. *Reg Anesth Pain Med*. Abril de 2011;36(2):162-70.
62. Rippey JCR, Blanco P, Carr PJ. An affordable and easily constructed model for training in ultrasound-guided vascular access. *J Vasc Access*. Octubre de 2015;16(5):422-7.
63. Adhikari S, Schmier C, Marx J. Focused simulation training: emergency department nurses' confidence and comfort level in performing ultrasound-guided vascular access. *J Vasc Access*. Diciembre de 2015;16(6):515-20.
64. Schofer JM, Nomura JT, Bauman MJ, Sierzenski PR. Prospective durability testing of a vascular access phantom. *West J Emerg Med*. Septiembre de 2010;11(4):302-5.

65. Niazi AU, Ramlogan R, Prasad A, Chan VWS. A new simulation model for ultrasound-aided regional anesthesia. *Reg Anesth Pain Med*. Junio de 2010;35(3):320-1.
66. Chao S-L, Chen K-C, Lin L-W, Wang T-L, Chong C-F. Ultrasound phantoms made of gelatin covered with hydrocolloid skin dressing. *J Emerg Med*. Agosto de 2013;45(2):240-3.
67. Tsui BCH, Dillane D, Walji AH. Cadaveric ultrasound imaging for training in ultrasound-guided peripheral nerve blocks: upper extremity. *Can J Anaesth J Can Anesth*. Mayo de 2007;54(5):392-6.
68. Gray AT. Ultrasound-guided regional anesthesia: current state of the art. *Anesthesiology*. Febrero de 2006;104(2):368-373, discussion 5A.
69. Ault MJ, Rosen BT, Ault B. The use of tissue models for vascular access training. Phase I of the procedural patient safety initiative. *J Gen Intern Med*. Mayo de 2006;21(5):514-7.
70. Pérez-Quevedo O, López-Álvarez JM, Limiñana-Cañal JM, Loro-Ferrer JF. Design and application of model for training ultrasound-guided vascular cannulation in pediatric patients. *Med Intensiva*. Septiembre de 2016;40(6):364-70.

71. Baddoo H, Djagbletey R, Owoo C. A simple tissue model for practicing ultrasound guided vascular cannulation. *Ghana Med J*. Marzo de 2014;48(1):47-9.
72. Zhu Y, Magee D, Ratnalingam R, Kessel D. A training system for ultrasound-guided needle insertion procedures. *Med Image Comput Comput-Assist Interv MICCAI Int Conf Med Image Comput Comput-Assist Interv*. 2007;10(Pt 1):566-74.
73. Pollard BA. New model for learning ultrasound-guided needle to target localization. *Reg Anesth Pain Med*. Agosto de 2008;33(4):360-2.
74. Skippen P, Kissoon N. Ultrasound guidance for central vascular access in the pediatric emergency department. *Pediatr Emerg Care*. Marzo de 2007;23(3):203-7.
75. Chamberlain MC, Reid SR, Madhok M. Utilization of emergency ultrasound in pediatric emergency departments. *Pediatr Emerg Care*. Julio de 2011;27(7):628-32.
76. AHRQ issues critical analysis of patient safety practices. *Qual Lett Healthc Lead*. Agosto de 2001;13(8):8-12, 1.
77. Shojania KG, Duncan BW, McDonald KM, Wachter RM, Markowitz AJ. Making health care safer: a critical analysis of patient safety practices. *Evid Rep Technol Assess (Summ)*. 2001;(43):i-x, 1-668.

78. Calvert N, Hind D, McWilliams RG, Thomas SM, Beverley C, Davidson A. The effectiveness and cost-effectiveness of ultrasound locating devices for central venous access: a systematic review and economic evaluation. *Health Technol Assess Winch Engl.* 2003;7(12):1-84.
79. Grebenik CR, Boyce A, Sinclair ME, Evans RD, Mason DG, Martin B. NICE guidelines for central venous catheterization in children. Is the evidence base sufficient? *Br J Anaesth.* Junio de 2004;92(6):827-30.
80. Mosteller RD. Simplified calculation of body-surface area. *N Engl J Med.* 22 de octubre de 1987;317(17):1098.
81. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA.* 27 de noviembre de 2013;310(20):2191-4.
82. Steinberg C, Weinstock DJ, Gold JP, Notterman DA. Measurements of central blood vessels in infants and children: normal values. *Cathet Cardiovasc Diagn.* Noviembre de 1992;27(3):197-201.
83. Hughes P, Scott C, Bodenham A. Ultrasonography of the femoral vessels in the groin: implications for vascular access. *Anaesthesia.* Diciembre de 2000;55(12):1198-202.

84. Akingbola OA, Nielsen J, Hopkins RL, Frieberg EM. Femoral vein size in newborns and infants: preliminary investigation. *Crit Care Lond Engl.* 2000;4(2):120-3.
85. Breschan C, Platzer M, Jost R, Stettner H, Likar R. Size of internal jugular vs subclavian vein in small infants: an observational, anatomical evaluation with ultrasound. *Br J Anaesth.* Agosto de 2010;105(2):179-84.
86. Sayin MM, Mercan A, Koner O, Ture H, Celebi S, Sozubir S, et al. Internal jugular vein diameter in pediatric patients: are the J-shaped guidewire diameters bigger than internal jugular vein? An evaluation with ultrasound. *Paediatr Anaesth.* Agosto de 2008;18(8):745-51.
87. Eksioglu AS, Tasci Yildiz Y, Senel S. Normal sizes of internal jugular veins in children/adolescents aged birth to 18 years at rest and during the Valsalva maneuver. *Eur J Radiol.* Abril de 2014;83(4):673-9.
88. Yildirim I, Yüksel M, Okur N, Okur E, Kılıç MA. The sizes of internal jugular veins in Turkish children aged between 7 and 12 years. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* Agosto de 2004;68(8):1059-62.
89. Mortensen JD, Talbot S, Burkart JA. Cross-sectional internal diameters of human cervical and femoral blood vessels:

- relationship to subject's sex, age, body size. *Anat Rec.* Enero de 1990;226(1):115-24.
90. Karazincir S, Akoğlu E, Balci A, Sangün O, Okuyucu S, Ozbakiş C, et al. Dimensions of internal jugular veins in Turkish children aged between 0 and 6 years in resting state and during Valsalva maneuver. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* Agosto de 2007;71(8):1247-50.
91. Lewiss RE, Hoffmann B, Beaulieu Y, Phelan MB. Point-of-care ultrasound education: the increasing role of simulation and multimedia resources. *J Ultrasound Med Off J Am Inst Ultrasound Med.* Enero de 2014;33(1):27-32.
92. Barsuk JH, McGaghie WC, Cohen ER, O'Leary KJ, Wayne DB. Simulation-based mastery learning reduces complications during central venous catheter insertion in a medical intensive care unit. *Crit Care Med.* Octubre de 2009;37(10):2697-701.
93. Thomas SM, Burch W, Kuehnle SE, Flood RG, Scalzo AJ, Gerard JM. Simulation training for pediatric residents on central venous catheter placement: a pilot study. *Pediatr Crit Care Med J Soc Crit Care Med World Fed Pediatr Intensive Crit Care Soc.* Noviembre de 2013;14(9):e416-423.
94. Erickson CS, Liao MM, Haukoos JS, Douglass E, DiGeronimo M, Christensen E, et al. Ultrasound-guided small vessel cannulation:

- long-axis approach is equivalent to short-axis in novice sonographers experienced with landmark-based cannulation. *West J Emerg Med*. Noviembre de 2014;15(7):824-30.
95. Panebianco NL, Fredette JM, Szyld D, Sagalyn EB, Pines JM, Dean AJ. What you see (sonographically) is what you get: vein and patient characteristics associated with successful ultrasound-guided peripheral intravenous placement in patients with difficult access. *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med*. Diciembre de 2009;16(12):1298-303.
96. Nakayama Y, Nakajima Y, Sessler DI, Ishii S, Shibasaki M, Ogawa S, et al. A novel method for ultrasound-guided radial arterial catheterization in pediatric patients. *Anesth Analg*. Mayo de 2014;118(5):1019-26.
97. Ueda K, Puangsuwan S, Hove MA, Bayman EO. Ultrasound visual image-guided vs Doppler auditory-assisted radial artery cannulation in infants and small children by non-expert anaesthesiologists: a randomized prospective study. *Br J Anaesth*. Febrero de 2013;110(2):281-6.
98. Phelan MP, Emerman C, Peacock WF, Karafa M, Colburn N, Buchanan K. Do echo-enhanced needles improve time to cannulate in a model of short-axis ultrasound-guided vascular

- access for a group of mostly inexperienced ultrasound users? *Int J Emerg Med.* 21 de agosto de 2009;2(3):167-70.
99. Tassone HM, Tayal VS, Weekes AJ, Garner CL, Norton JH. Ultrasound-guided oblique approach for peripheral venous access in a phantom model. *Crit Ultrasound J.* 15 de junio de 2012;4(1):14.
100. Vogel JA, Haukoos JS, Erickson CL, Liao MM, Theoret J, Sanz GE, et al. Is long-axis view superior to short-axis view in ultrasound-guided central venous catheterization? *Crit Care Med.* Abril de 2015;43(4):832-9.
101. Chittoodan S, Breen D, O'Donnell BD, Iohom G. Long versus short axis ultrasound guided approach for internal jugular vein cannulation: a prospective randomised controlled trial. *Med Ultrason.* Marzo de 2011;13(1):21-5.
102. Blaivas M, Brannam L, Fernandez E. Short-axis versus long-axis approaches for teaching ultrasound-guided vascular access on a new inanimate model. *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med.* Diciembre de 2003;10(12):1307-11.
103. Schummer W, Schummer C, Tuppatsch H, Fuchs J, Bloos F, Hüttemann E. Ultrasound-guided central venous cannulation: is there a difference between Doppler and B-mode ultrasound? *J Clin Anesth.* Mayo de 2006;18(3):167-72.

104. Phelan M, Hagerty D. The oblique view: an alternative approach for ultrasound-guided central line placement. *J Emerg Med.* Noviembre de 2009;37(4):403-8.
105. Dilisio R, Mittnacht AJC. The «medial-oblique» approach to ultrasound-guided central venous cannulation--maximize the view, minimize the risk. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* Diciembre de 2012;26(6):982-4.
106. Chin KJ, Perlas A, Chan VWS, Brull R. Needle visualization in ultrasound-guided regional anesthesia: challenges and solutions. *Reg Anesth Pain Med.* Diciembre de 2008;33(6):532-44.
107. Moak JH, Lyons MS, Wright SW, Lindsell CJ. Needle and guidewire visualization in ultrasound-guided internal jugular vein cannulation. *Am J Emerg Med.* Mayo de 2011;29(4):432-6.
108. Hebard S, Hocking G. Echogenic technology can improve needle visibility during ultrasound-guided regional anesthesia. *Reg Anesth Pain Med.* Abril de 2011;36(2):185-9.
109. Karstrup S, Brøns J, Morsel L, Juul N, von der Recke P. Optimal set-up for ultrasound guided punctures using new scanner applications: an in-vitro study. *Eur J Ultrasound Off J Eur Fed Soc Ultrasound Med Biol.* Junio de 2002;15(1-2):77-84.
110. Stone MB, Moon C, Sutijono D, Blaivas M. Needle tip visualization during ultrasound-guided vascular access: short-axis

- vs long-axis approach. *Am J Emerg Med.* Marzo de 2010;28(3):343-7.
111. Reusz G, Sarkany P, Gal J, Csomos A. Needle-related ultrasound artifacts and their importance in anaesthetic practice. *Br J Anaesth.* Mayo de 2014;112(5):794-802.
112. Iwashima S, Ishikawa T, Ohzeki T. Ultrasound-guided versus landmark-guided femoral vein access in pediatric cardiac catheterization. *Pediatr Cardiol.* Marzo de 2008;29(2):339-42.
113. Suk EH, Lee K-Y, Kweon TD, Jang Y-H, Bai SJ. Ultrasonographic evaluation of the femoral vein in anaesthetised infants and young children. *Anaesthesia.* Septiembre de 2010;65(9):895-8.
114. Troianos CA, Kuwik RJ, Pasqual JR, Lim AJ, Odasso DP. Internal jugular vein and carotid artery anatomic relation as determined by ultrasonography. *Anesthesiology.* Julio de 1996;85(1):43-8.
115. Song I-K, Choi J-Y, Lee J-H, Kim E-H, Kim H-J, Kim H-S, et al. Short-axis/out-of-plane or long-axis/in-plane ultrasound-guided arterial cannulation in children: A randomised controlled trial. *Eur J Anaesthesiol.* Julio de 2016;33(7):522-7.
116. Blaivas M, Adhikari S. An unseen danger: frequency of posterior vessel wall penetration by needles during attempts to place internal jugular vein central catheters using ultrasound guidance. *Crit Care Med.* Agosto de 2009;37(8):2345-2349; quiz 2359.

117. Moon CH, Blehar D, Shear MA, Uyehara P, Gaspari RJ, Arnold J, et al. Incidence of posterior vessel wall puncture during ultrasound-guided vessel cannulation in a simulated model. *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med*. Octubre de 2010;17(10):1138-41.
118. Vieira RL, Gallagher RA, Stack AM, Werner HC, Levy JA. Development and evaluation of a program for the use of ultrasound for central venous catheter placement in a pediatric emergency department. *Pediatr Emerg Care*. Diciembre de 2013;29(12):1245-8.
119. Evans LV, Dodge KL, Shah TD, Kaplan LJ, Siegel MD, Moore CL, et al. Simulation training in central venous catheter insertion: improved performance in clinical practice. *Acad Med J Assoc Am Med Coll*. Septiembre de 2010;85(9):1462-9.
120. Feller-Kopman D. Ultrasound-guided internal jugular access: a proposed standardized approach and implications for training and practice. *Chest*. Julio de 2007;132(1):302-9.
121. Costello JM, Clapper TC, Wypij D. Minimizing complications associated with percutaneous central venous catheter placement in children: recent advances. *Pediatr Crit Care Med J Soc Crit Care Med World Fed Pediatr Intensive Crit Care Soc*. Marzo de 2013;14(3):273-83.

ANEXOS

8.- ANEXOS

ANEXO I



DOCUMENTO INFORMATIVO PARA FAMILIARES DE MENORES INGRESADOS EN LA UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS PEDIÁTRICOS

Los niños que ingresan en la Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos, precisan en la mayoría de las ocasiones la administración de un tratamiento intravenoso o la realización de diversos análisis sanguíneos. Para ello es necesario la canalización de una vena o una arteria, que habitualmente se realiza mediante la visualización, palpación o por referencias anatómicas de las mismas.

La Ecografía Vascular es una técnica de imagen, que permite visualizar, localizar y medir los principales vasos venosos y arteriales del paciente pediátrico, siendo éste el primer paso para una posterior punción y canalización vascular guiada por ecografía.

Esta técnica está en pleno desarrollo y cada vez se utiliza con más frecuencia. Su fundamento se basa en la emisión de un haz de ultrasonidos que al atravesar las distintas estructuras y tejidos del paciente genera la imagen en un monitor, debido al reflejo de los ultrasonidos.

Las principales ventajas de la localización y medición vascular en el paciente pediátrico son: a) Es una técnica totalmente segura, sin ningún riesgo asociado; b) Permite visualizar el sistema venoso y arterial; c) No genera molestias; d) No emite radiaciones y; e) Se puede repetir indefinidamente.

Por ello le solicitamos su **AUTORIZACIÓN** para la realización de dicha técnica en el paciente ingresado en la Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos, de forma **VOLUNTARIA, ANÓNIMA y REVOCABLE EN CUALQUIER MOMENTO**, a través de la firma en el siguiente documento.

Fdo:

En las Palmas de Gran Canaria a ___ de _____ de _____.

ANEXO II**Hoja de recogida de datos taller de formación operadores sin experiencia**

Nº Alumno: MEDICO (1)-----ENFERMERA (2)

AÑOS EXPERIENCIA: FECHA:

Nº Punción												
Profundidad												
Diámetro												
Eje												
Nº Intento												
Tiempo Canalización												
Éxito												
CRG												
Perforación/mal posición												
PNC												
Visión aguja												

D. _____, con NIF: _____

AUTORIZO la utilización de los resultados de este **Taller de Ecografía Vascular**, para su análisis y publicación por parte de los responsables de este taller.

Fdo:

En Las Palmas de GC a _____ de _____ de _____.

ANEXO III**ENCUESTA MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA CANALIZACIÓN VASCULAR ECOGUIADA**

Esta encuesta es anónima. Nos gustaría que tras haber realizado el **“Taller de punción vascular ecoguiada”** realizado en la Unidad de Medicina Intensiva del Hospital Materno Infantil se valorase, de modo personal, si el modelo de entrenamiento utilizado para las prácticas se asemeja a la realidad de punción y canalización de una vía (periférica, PICC, central), en el niño.

Por favor, conteste a estas preguntas. Rodee con un círculo la respuesta que considere mas apropiada según los ítems que se indican a continuación:

1. Nada. 2. Poco 3. Algo 4. Mucho 5. Totalmente

A.-¿Se asemeja la **estructura muscular** del modelo de entrenamiento (*pechuga de pollo*) a la piel o parte muscular del paciente pediátrico al realizar la punción y canalización de una vía?

1 2 3 4 5

B.-¿Se asemeja la **estructura vascular** del modelo de entrenamiento (*globo*), a la estructura venosa, arterial del paciente al realizar la punción y canalización de una vía?

1 2 3 4 5

C.-¿Se **asemeja** el modelo de entrenamiento **de forma global** a la realización de la técnica de punción canalización de una vía en el paciente pediátrico?

1 2 3 4 5

D.-Las **maniobras** que se realizan para favorecer la canalización de una vía como pueden ser: ligera retirada de la aguja, bajar la aguja, rotar el bisel de la aguja... ¿son **semejantes** a las utilizadas en la canalización de una vía en el paciente pediátrico?

1 2 3 4 5

E.-En su opinión: ¿**sirve** el **“modelo de entrenamiento”** utilizado, para entrenarse en la técnica de la canalización vascular guiada por ecografía y realizarla posteriormente en el niño?

1 2 3 4 5

Muchas gracias.

ANEXO IV**Hoja de recogida de datos de la CVE en modelo de
entrenamiento en operadores con experiencia**

Nº Caso								
Fecha								
Simulación								
Operador								
Profundidad								
Diámetro								
Eje Ecográfico								
Dist. sonda								
Tiempo Canalización								
Nº Intentos								
Éxito								
CRG								
PNC								
Perforación/ Mal posición								
Visión aguja								

ANEXO V

AUTORIZACIÓN REPRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DE IMÁGENES E ILUSTRACIONES

Estimado Dr. López

Por la presente, Ergon Creación S.A. autoriza al Dr. José Manuel López Álvarez a reproducir algunas imágenes del Manual de Ecografía Básica para Anestesia Regional (ISBN 978-84-8473-853-4) en la Tesis Doctoral que dirige.

Puede referenciarlo de la siguiente forma:

Tomado con autorización de: Del Olmo Rodríguez C, De Diego Isasa P, Ortega Romero A. Manual de ecografía básica para anestesia regional. Madrid: Ergon; 2010.



Telf: 93 428 55 00
Móvil 606 244 267
Plaza Josep Pallach 12
08035 Barcelona
maricarmen.gurrea@ergon.es
www.ergon.es

ANEXO VI

AUTORIZACIÓN REPRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DE IMÁGENES E ILUSTRACIONES

En relación a solicitud realizada:

D. Vicente Roques Escolar autoriza a **D. José Manuel López Alvarez** a la reproducción de las imágenes que precise de los videos de Ecografía publicados por mí, para su inclusión en la Tesis Doctoral que está dirigiendo.



Fdo: Dr. Vicente Roques Escolar

Médico Anestesiólogo

Hospital Virgen de la Arrixaca

Murcia

En Murcia a 5 de Febrero de 2016