

MEDICIÓN ECOGRÁFICA DEL DIÁMETRO DE LA VAINA DEL NERVIO ÓPTICO
EN ADULTOS SALUDABLES, NEIVA 2019

DANNY LEANDRO RODRÍGUEZ CASTRO

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE SALUD
ESPECIALIZACIÓN EN ANESTESIOLOGÍA Y REANIMACIÓN
NEIVA – HUILA
2019

MEDICIÓN ECOGRÁFICA DEL DIÁMETRO DE LA VAINA DEL NERVIO ÓPTICO
EN ADULTOS SALUDABLES NEIVA 2019

DANNY LEANDRO RODRÍGUEZ CASTRO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Médico en
Anestesiología y Reanimación.

Asesor clínico
DANIEL RIVERA TOCANCIPÁ
Medico Anestesiólogo y Especialista en Epidemiología

Asesor Metodológico
CARLOS MONTALVO ARCE
Médico y Especialista en Epidemiología

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE SALUD
ESPECIALIZACIÓN EN ANESTESIOLOGÍA Y REANIMACIÓN
NEIVA – HUILA
2019

Nota de aceptación:

Eugenio Rodolfo 4.8/5
Mención al felicitarnos

William Silva 4.2

Total = 45



Firma del presidente del jurado

Eugenio Rodolfo

Firma del jurado



Firma del jurado

Neiva, agosto del 2019.

DEDICATORIA

*A mis padres y hermana, motivo de inspiración académica
Y por su apoyo.*

A Samira mi fuente de alegría y motivación.

A Irina por su amor incondicional, su fortaleza y comprensión.

Danny Leandro

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos:

A la Universidad Surcolombiana, Facultad de Salud, institución que me permitió formarme como Anestesiólogo

Al Hospital Universitario Hernando Moncaleano Perdomo, pacientes y personal asistencial.

A los docentes del postgrado de Anestesiología y Reanimación, en especial a mis asesores clínico y metodológico, Doctores Daniel Rivera Tocancipá y Carlos Montalvo Arce.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	18
1. JUSTIFICACIÓN	20
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
3. OBJETIVOS	22
3.1 OBJETIVO GENERAL	22
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
4. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	23
5. MARCO TEÓRICO	25
5.1 INTRODUCCIÓN	25
5.2 COMPONENTES DE LA PRESIÓN INTRACRANEANA	26
5.2.1 Líquido cefalorraquídeo	26
5.2.2 Flujo sanguíneo cerebral	27
5.2.3 Autoregulación	27
5.2.4 Tejido encefálico	28
5.3 FISIOPATOLOGÍA	29

	pág.	
5.4	MANIFESTACIONES CLÍNICAS	30
6.	MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA PRESIÓN INTRACRENEANA	31
6.1	MÉTODOS INVASIVOS	31
6.1.1	Catéter de ventriculostomía	31
6.1.2	Dispositivos de microsensado	31
6.1.3	Dispositivos epidurales y subdurales	31
6.1.4	Intraparenquimatosos	31
6.1.5	Subaracnoideos	32
6.2	MÉTODOS NO INVASIVOS	32
6.2.1	Oftalmodinamometría venosa	32
6.2.2	Desplazamiento de la membrana timpánica	32
6.2.3	Tonometría	32
6.2.4	Doppler transcraneal	32
6.2.5	TAC y Resonancia magnética	33
7.	DIÁMETRO DE LA VAINA DEL NERVIO ÓPTICO	34
8.	PREGUNTA PICO	38
9.	HIPÓTESIS	39

		pág.
10.	METODOLOGIA	40
10.1	TIPO DE ESTUDIO	40
10.2	LUGAR DE ESTUDIO	40
10.3	PERÍODO DE ESTUDIO	40
10.4	POBLACIÓN Y MUESTRA	40
10.4.1	Criterios de inclusión	41
10.4.2	Criterios de exclusión	41
10.5	ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL DE SESGOS	42
10.6	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	42
10.6.1	Medición del diámetro de la vaina del nervio óptico	43
10.6.2	Variables demográficas, antropométricas y clínicas	43
10.7	PRUEBA PILOTO	43
10.8	VARIABLES	44
10.8.1	Operacionalización de variables	44
10.9	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	45
11.	RESULTADOS	47
11.1	VARIABLES SOCIODEMOGRÁFICAS Y CUANTITATIVAS	47

		pág.
11.2	VARIABLES SOCIODEMOGRÁFICAS EN LA POBLACIÓN A ESTUDIO	47
11.3	NORMALIDAD DE LA VARIABLE CENTRAL DE ESTUDIO	49
11.4	RELACIÓN DE VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS CON DVNO	52
11.5	RELACIÓN INTEROBSERVADOR DEL PROMEDIO DEL DVNO	54
11.6	MODELO PREDICTIVO	58
12.	CRONOGRAMA DE LA INVESTIGACIÓN (FASES DE INVESTIGACION)	61
13.	CONSIDERACIONES BIOÉTICAS	62
14.	RECURSOS	63
15.	DISCUSIÓN	64
16.	CONCLUSIONES	67
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
	ANEXOS	73

LISTA DE FIGURAS

		pág.
Figura 1	Doctrina Monro-Kellie sobre la compensación intracraneal, tomado de Advanced Trauma Life Support 9° edición, 2012 cap 6:153-154	26
Figura 2	Flujo sanguíneo cerebral en función de la presión arterial media, tomado de Sabinston, tratado de cirugía 20° edición capítulo 67	28
Figura 3	Curva de presión-volumen intracraneal. Adaptado de Anaesthesia & Intensive Care Medicine, Volume 17, Issue 12, December 2016, Pages 611-612	29
Figura 4	Corte transversal del nervio óptico. Tomado de Vaughan y Asbury. Oftalmología General, 18° edición, 2012, Capítulo 1	34
Figura 5	Diagrama de la evaluación ecográfica del diámetro de la vaina del nervio óptico. Tomado de Ann Emerg Med. 2007; 49:508–14	35
Figura 6	Técnica de medición ecográfica del DVNO. Tomado de Anesthesia. 2017; May;72(5):618-623	35

LISTA DE TABLAS

		pág.
Tabla 1	Caracterización de la población para la medición del diámetro del nervio óptico	48
Tabla 2	Prueba de Kolmogorov-Smirnov de normalidad	49
Tabla 3	Comparación del diámetro del nervio óptico de acuerdo a características demográficas y clínicas	51
Tabla 4	Análisis de varianza: DVNO vs variables	53
Tabla 5	Relación promedio DVNO interobservador	54
Tabla 6	Medidas de tendencia central, de dispersión y de asociación intraobservador	55
Tabla 7	Medidas de confiabilidad intraobservador	56
Tabla 8	Medidas de confiabilidad interobservador	56
Tabla 9	Parámetros del modelo predictivo	60

LISTA DE GRAFICAS

		pág.
Grafica 1	Histograma de distribución del DVNO	50
Grafica 2	Comparación variable: DVNO vs edad	52
Grafica 3	Comparación de variables: DVNO vs IMC	53
Grafica 4	Diferencia de medias interobservador	54
Grafica 5	Confiabilidad de Altman y Brand para la medida 1 interobservador	57
Grafica 6	Confiabilidad de Altman y Brand para la medida 2 interobservador	57
Grafica 7	Confiabilidad de Altman y Brand para la medida 3 interobservador	58
Grafica 8	Matriz de correlaciones	59

LISTA DE ANEXOS

		pág.
Anexo A	Consentimiento informado para participar en un estudio de investigación medica	74
Anexo B	Desistimiento informado	77

RESUMEN

La *hipertensión endocraneana* es una entidad de etiología variable determinada por la elevación anormal de la presión al interior del cráneo y entraña una alteración de los elementos que en éste reposan, llegando a causar efectos directos sobre las estructuras encefálicas según su velocidad y grado de presentación, pudiendo llevar rápidamente a la muerte.

Bajo la premisa que el volumen encefálico, volumen sanguíneo y volumen de líquido cefalorraquídeo (LCR) determinan la presión intracraneana (PIC) y la perfusión cerebral, es de importancia capital limitar los cambios que puedan llevar a aumento de la PIC que producirá disminución inicial del volumen del LCR intracraneal al desplazarlo al espacio subaracnoideo espinal y posteriormente compromiso del flujo sanguíneo cerebral, eventual herniación y muerte, por ello el interés clínico en lograr una medición de la PIC.

El uso de la monitoria de la PIC hace parte del manejo de cuidado neurocrítico en patologías como hemorragia subaracnoidea, trauma craneoencefálico, hidrocefalia, sangrado intracraneal, edema cerebral entre otros(1). Los métodos de medición invasivos y más específicamente el catéter de ventriculostomía, permanece como el método de elección a la hora de monitorizar la PIC; este método requiere la intervención del neurocirujano y no es inocuo por lo que la propuesta de un método no invasivo al lado de la cabecera del paciente, realizado por un médico entrenado, que permita el cálculo de la PIC es atractiva.

La monitoria no invasiva de la presión intracraneana ha demostrado utilidad en algunos escenarios, por ende, el interés en la medición ecográfica de la vaina del nervio óptico.

La vaina del nervio óptico es una porción distensible del sistema nervioso central, cuyo diámetro varía en respuesta a los cambios de presión intracraneana. Su medición es posible a través de ecografía, siendo un método sencillo de aplicar y con ventajas sobre otros al ser no invasivo, portátil y poder ser aplicado de manera dinámica. Se ha descrito en trabajos anteriores distintos puntos de corte del diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO) en relación con el desarrollo de hipertensión endocraneana así como variaciones normales del mismo en población sana de diferentes zonas geográficas.

En este trabajo se desarrolló un estudio descriptivo prospectivo en el que se establecieron valores normales del diámetro de la vaina del nervio óptico entre población adulta ASA I y II en la ciudad de Neiva - Huila, realizando la medición por vía ecográfica, obteniendo un valor "normal" a ser tenido en cuenta como referencia al momento de enfrentarse a un paciente con sospecha de hipertensión endocraneana, pudiendo influir positivamente en su manejo y pronóstico.

El valor obtenido promedio del DVNO fue de 4,65mm el cual tuvo asociación con algunas variables agrupadas (la edad, la clasificación ASA y tener alguna comorbilidad) pero no tuvo relación significativa con las variables antropométricas o clínicas evaluadas (género, IMC y presión arterial).

Palabras Claves: Hipertensión endocraneana, líquido cefalorraquídeo (LCR), presión intracraneana (PIC), diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO), patologías como hemorragia subaracnoidea, trauma craneoencefálico, hidrocefalia, sangrado intracraneal, edema cerebral.

SUMMARY

Endocranial hypertension is an entity of variable etiology determined by the abnormal elevation of pressure inside the skull and involves an alteration of the elements that rest there, causing direct effects on the brain structures according to their speed and degree of presentation, can quickly lead to death.

Under the premise that brain volume, blood volume and cerebrospinal fluid (CSF) volume determine intracranial pressure (ICP) and cerebral perfusion, it is of paramount importance to limit the changes that may lead to an increase in ICP that will lead to an initial decrease in volume of intracranial CSF when displaced to the spinal subarachnoid space and subsequently compromised cerebral blood flow, eventual herniation and death, therefore the clinical interest in achieving a measurement of ICP.

The use of ICP monitoring is part of the management of neurocritical care in pathologies such as subarachnoid hemorrhage, craniocerebral trauma, hydrocephalus, intracranial bleeding, cerebral edema among others (1). Invasive measurement methods and more specifically the ventriculostomy catheter, remains the method of choice when monitoring ICP; This method requires the intervention of the neurosurgeon and is not harmless, so the proposal of a non-invasive method next to the patient's bedside, made by a trained doctor, which allows the calculation of the ICP is attractive.

Non-invasive monitoring of intracranial pressure has proven useful in some scenarios, therefore, interest in the ultrasound measurement of the optic nerve sheath.

The optic nerve sheath is a distensible portion of the central nervous system, the diameter of which varies in response to changes in intracranial pressure. Its measurement is possible through ultrasound, being a simple method to apply and with advantages over others as it is non-invasive, portable and can be applied dynamically. It has been described in previous works different cut-off points of the diameter of the optic nerve sheath (DVNO) in relation to the development of endocranial hypertension as well as normal variations thereof in healthy population of different geographical areas.

In this work a prospective descriptive study was developed in which normal values of the diameter of the optic nerve sheath were established between the adult population ASA I and II in the city of Neiva - Huila, performing the ultrasound measurement, obtaining a value " normal "to be taken into account as a reference when facing a patient with suspected endocranial hypertension, being able to positively influence its management and prognosis.

El valor obtenido promedio del DVNO fue de 4,65mm el cual tuvo asociación con algunas variables agrupadas (la edad, la clasificación ASA y tener alguna comorbilidad) pero no tuvo relación significativa con las variables antropométricas o clínicas evaluadas (género, IMC y presión arterial).

Key words: Endocranial hypertension, cerebrospinal fluid (CSF), intracranial pressure (ICP), diameter of the optic nerve sheath (DVNO), pathologies such as subarachnoid hemorrhage, cranioencephalic trauma, hydrocephalus, intracranial bleeding, cerebral edema.

INTRODUCCIÓN

La *hipertensión endocraneana* es una entidad de etiología variable determinada por la elevación anormal de la presión al interior del cráneo y entraña una alteración de los elementos que en éste reposan, llegando a causar efectos directos sobre las estructuras encefálicas según su velocidad y grado de presentación, pudiendo llevar rápidamente a la muerte.

Bajo la premisa que el volumen encefálico, volumen sanguíneo y volumen de líquido cefalorraquídeo (LCR) determinan la presión intracraneana (PIC) y la perfusión cerebral, es de importancia capital limitar los cambios que puedan llevar a aumento de la PIC que producirá disminución inicial del volumen del LCR intracraneal al desplazarlo al espacio subaracnoideo espinal y posteriormente compromiso del flujo sanguíneo cerebral, eventual herniación y muerte, por ello el interés clínico en lograr una medición de la PIC.

El uso de la monitoria de la PIC hace parte del manejo de cuidado neurocrítico en patologías como hemorragia subaracnoidea, trauma craneoencefálico, hidrocefalia, sangrado intracraneal, edema cerebral entre otros(1). Los métodos de medición invasivos y más específicamente el catéter de ventriculostomía, permanece como el método de elección a la hora de monitorizar la PIC; este método requiere la intervención del neurocirujano y no es inocuo por lo que la propuesta de un método no invasivo al lado de la cabecera del paciente, realizado por un médico entrenado, que permita el cálculo de la PIC es atractiva.

La monitoria no invasiva de la presión intracraneana ha demostrado utilidad en algunos escenarios, por ende, el interés en la medición ecográfica de la vaina del nervio óptico.

La vaina del nervio óptico es una porción distensible del sistema nervioso central, cuyo diámetro varía en respuesta a los cambios de presión intracraneana. Su medición es posible a través de ecografía, siendo un método sencillo de aplicar y con ventajas sobre otros al ser no invasivo, portátil y poder ser aplicado de manera dinámica. Se ha descrito en trabajos anteriores distintos puntos de corte del diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO) en relación con el desarrollo de hipertensión endocraneana así como variaciones normales del mismo en población sana de diferentes zonas geográficas.

En este trabajo se desarrolló un estudio descriptivo prospectivo en el que se establecieron valores normales del diámetro de la vaina del nervio óptico entre población adulta ASA I y II en la ciudad de Neiva - Huila, realizando la medición por vía ecográfica, obteniendo un valor "normal" a ser tenido en cuenta como referencia al momento de enfrentarse a un paciente con sospecha de hipertensión endocraneana, pudiendo influir positivamente en su manejo y pronóstico. Se evaluó también la variabilidad intra e interobservador y se desarrolló una fórmula para predecir a partir de variables antropométricas el DVNO.

1 JUSTIFICACIÓN

La hipertensión endocraneana puede responder a distintas etiologías (hematomas, tumores, abscesos, trombosis venosa, hipercapnia, obstrucción del líquido cefalorraquídeo, traumas, entre otras), dada su morbimortalidad, el diagnóstico y manejo prioritarios son relevantes, sin embargo no siempre es fácil identificar clínicamente la presencia de la misma por lo que la medición ecográfica ofrece una herramienta adicional, rápida, relativamente fácil y no invasiva dentro de la valoración de estos pacientes.

Un DVNO de más de 5 mm se acompaña casi siempre de una PIC de más de 30 mmHg(7), sin embargo presiones del líquido cefalorraquídeo (LCR) entre 20 y 30 mmHg son ya consideradas como anormales, por lo que queda un rango importante de presiones patológicas con potencial riesgo para el paciente que no podrán ser correlacionadas con el DVNO, motivo notable para poder establecer un rango de normalidad del DVNO en pacientes saludables. Vale la pena anotar que los diferentes puntos de corte y variabilidad interindividual observada en estudios previos soportan la utilidad de medir los cambios dinámicos en el propio paciente, es decir comparar el paciente con él mismo en cuyo caso un aumento en el DVNO de 0,66 mm tiene una sensibilidad del 87% y especificidad del 100% para determinar hipertensión endocraneana; esto en caso de hemorragia intracerebral de más de 2,5 cm³ (9).

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Aunque hasta hoy los métodos invasivos han sido de elección para la monitoria de la presión intracraneana, éstos métodos no están exentos de peligros como infecciones, sangrados, disfunción, expulsión, posicionamiento inadecuado, daño de tejido cerebral, fugas, entre otros; además para su colocación requieren un abordaje quirúrgico y en muchas ocasiones el neurocirujano no acepta la instauración de estos dispositivos como monitoria o no se cuenta con el recurso humano para su colocación, de manera que el desarrollo de un método indirecto o no invasivo aplicado por especialistas diferentes a neurocirugía, que sea seguro, fácil de usar, que no cause molestias al paciente y que sea preciso es deseable (14), el cual además se puede correlacionar en determinado momento con los métodos invasivos en caso de sospecha de mal funcionamiento de éstos últimos.

El presente trabajo definió valores de “normalidad” del diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO), concepto que posteriormente se podrá aplicar a pacientes enfermos y/o relacionarlos con otros sistemas de medida.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los valores promedios del DVNO en población saludable mayor de 18 años.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar las variaciones del DVNO de acuerdo con variables demográficas, antropométricas y clínicas.

Determinar la variabilidad y la confiabilidad intraobservador e interobservador de las mediciones del DVNO.

Determinar una fórmula que prediga el diámetro del nervio óptico de acuerdo con la edad, peso y talla.

Adquirir la experticia en un grupo de anesestesiólogos en la medición del DVNO; que sirvan de multiplicadores del entrenamiento y esta se convierta en una herramienta que apoye el seguimiento de los pacientes neuroquirúrgicos.

4 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

La hipertensión endocraneana puede responder a diferentes etiologías como tumores intracraneales, eventos cerebrovasculares (isquémicos y/o hemorrágicos), hematomas intracraneales, entre otros, siendo la más común la secundaria a trauma craneoencefálico (TCE), con un número aproximado de 200 casos por 100.000 habitantes año a nivel mundial(2).

En los adultos el compartimiento intracraneal contiene un volumen cercano de 1400 – 1700 ml dado por parénquima cerebral (80%), líquido cefalorraquídeo (10%), sangre y líquido intersticial (10%), son estos componentes que determinan la presión intracraneana (PIC) cuyo valor normal varía según edad, actividad física, ventilación, posición corporal, etc. Pero se mantiene regulada por debajo de los 15 mmHg en personas sanas. En caso de aumento de la PIC, se ofrecen mecanismos reguladores que buscan limitarla pero una vez superados los 20 mmHg de manera sostenida se considera hipertensión endocraneana y esta puede conllevar mayor mortalidad o peores desenlaces como lo muestran los datos del estudio de M. M. Treggiari, el cual evidencia como la mortalidad se incrementa en pacientes con trauma craneoencefálico con el aumento de la PIC con un OR de 3.5 [95%CI: 1.7 - 7.3] con PIC de 20 – 40 mmHg y OR de 6.9 [95%CI: 3.9 - 12.4] para PIC >40mmHg (3), lo que destaca el valor de lograr su identificación, monitoria y tratamiento(4,5).

Como tal la PIC no puede medirse por técnicas no invasivas, sin embargo, indicios sobre normalidad o anormalidad si pueden ser obtenidos. Hoy la monitorización invasiva de la PIC y su impacto en la mortalidad son polémicos como lo muestra el estudio (Benchmark Evidence from South American Trials: Treatment of Intracranial Pressure [BEST: TRIP])(6) que compara el manejo de pacientes con trauma craneoencefálico grave guiado por PIC invasiva *versus* el manejo guiado por imágenes seriadas y evaluación clínica, sin encontrar diferencia significativa en sobrevida, estado funcional o deterioro de conciencia a 3 y 6 meses, lo que sugiere que la evaluación no invasiva de la presión intracraneana puede ser considerada para el manejo de estos pacientes.

Debido a que el nervio óptico es una prolongación fácilmente valorable del sistema nervioso central (SNC) y basados en la descripción de Hansen y Helmke de 1997(7), quienes demuestran que el incremento de la PIC tiene una estrecha correlación con el aumento del DVNO, aparece la ultrasonografía como alternativa a los métodos invasivos de medición de presión intracraneana.

De igual manera el ensayo clínico *measurement of optic nerve sheath in traumatic raised intracranial pressure (MOONSTRIP)* pretende demostrar que la ecografía del nervio óptico es tan buena como la TC para descartar elevaciones clínicamente significativas en la presión dentro del cerebro, sin embargo, en el momento de la revisión de la literatura sus resultados aún no estaban disponibles.

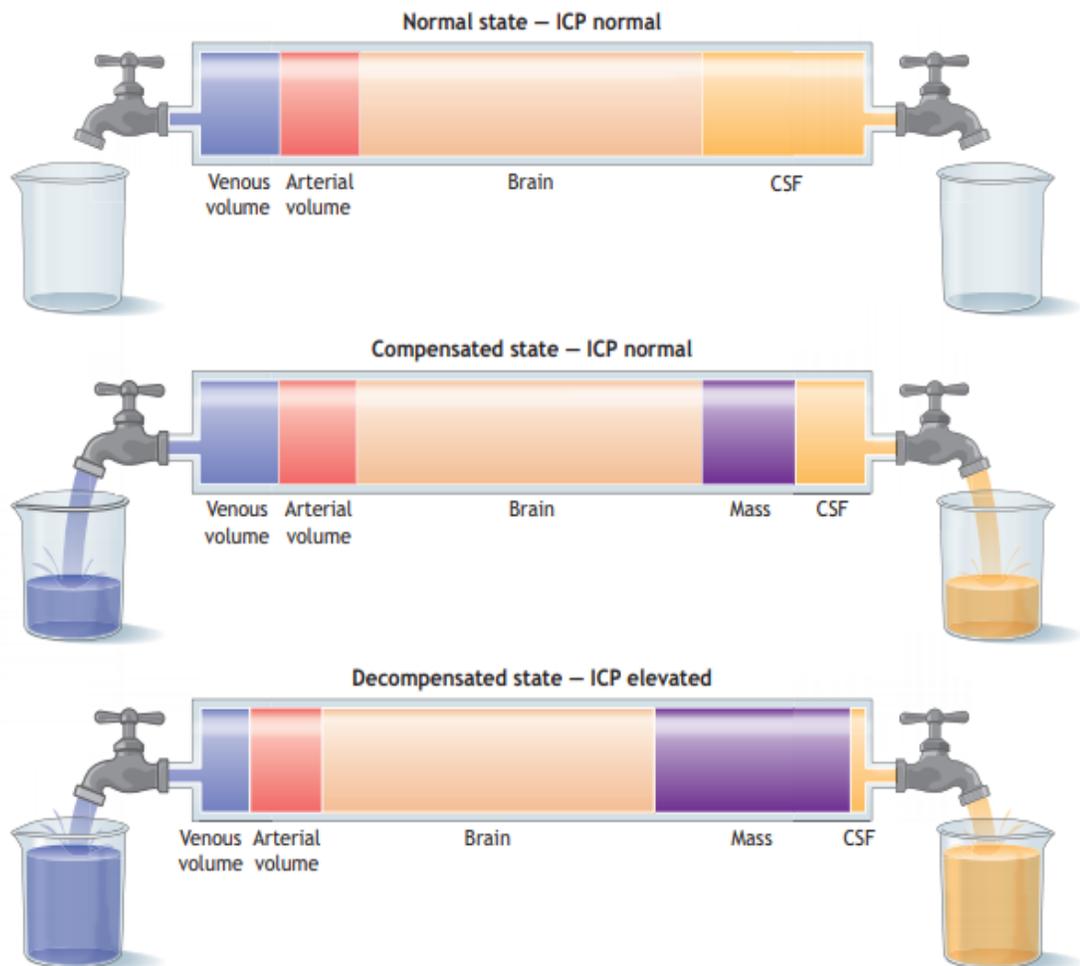
Son varios los estudios a nivel mundial que relacionan el aumento de la PIC con el aumento del DVNO(8)(9)(10)(11)(12). Un estudio nacional nos presenta la utilidad de la medición del DVNO y su correlación con hipertensión endocraneana, además destaca el hecho de no contar con un valor estándar que sugiera el límite entre la normalidad y la hipertensión(13), pero no hay estudios nacionales, regionales o locales que busquen determinar el rango de normalidad del DVNO en población adulta saludable el cual debe ser tomado como punto de partida para interpretaciones de anormalidad en hallazgos ultrasonográficos de la VNO.

5 MARCO TEÓRICO

5.1 INTRODUCCIÓN

Existe un equilibrio entre las estructuras que ocupan el cráneo (líquido cefalorraquídeo, tejido cerebral y sangre), que busca mantener valores normales de presión intracraneana por debajo de 15 mmHg. Dada la condición rígida del cráneo del adulto el aumento en cualquiera de los componentes debe ser compensado por la disminución proporcional de uno o más de los otros, lo que se conoce como doctrina de Monroe – Kellie, con un reciente interés en el equilibrio del flujo arterio/venoso cerebral (15). De no haber compensación, ocurrirá un aumento de la PIC con potencial daño en las estructuras cerebrales y muerte.

Figura 1. Doctrina Monro-Kellie sobre la compensación intracraneal, tomado de Advanced Trauma Life Support 9° edición, 2012 cap 6:153-154



Dado que, en adultos, el parénquima cerebral es relativamente constante, el LCR y el volumen sanguíneo toman un papel principal en la regulación de la PIC

5.2 COMPONENTES DE LA PRESIÓN INTRACRANEANA

5.2.1 Líquido cefalorraquídeo. El líquido cefalorraquídeo se produce en su mayoría en los plexos coroideos y en menor proporción en el epéndimo y la barrera hematoencefálica (BHE) de los vasos sanguíneos cerebrales. Su velocidad de formación ronda los 0.34 ml/min o 20 ml/hr para un promedio de 450 - 500 ml/día y un recambio diario de 3 a 4 veces su contenido total (150ml), está confinado al espacio subaracnoideo (125ml) y a los ventrículos (25ml) desde donde se dirige

hacia el tercer ventrículo a través del agujero de Monro, luego al cuarto ventrículo por el acueducto de Silvio y desde allí a bañar la médula, espacio subaracnoideo y cisternas por los agujeros de Lushka y Magendie para finalmente ser reabsorbido a nivel de las granulaciones aracnoideas (corpúsculos de Pachioni) hacia el seno sagital superior (90%) y la circulación venosa mientras un 10% es absorbido a nivel espinal(16).

El volumen del LCR permanece constante gracias a una armonía entre la producción y la absorción y dentro de otras funciones, determina el volumen de sangre en el espacio intracraneal el cual a su vez se modifica por condiciones como hipercapnia, hipoxia, entre otras.

5.2.2 Flujo sanguíneo cerebral. El cerebro representa solo el 2% del peso corporal total pero tiene un alto consumo de oxígeno y gasto cardiaco pues no cuenta con reservas energéticas, el flujo sanguíneo es mayor hacia la corteza cerebral y está determinado por la presión a través de la circulación cerebral demandando en total el 15% del gasto cardiaco (750 – 900ml/min) y el 20% del oxígeno inspirado (3,5mlO₂/100gr/min)(17).

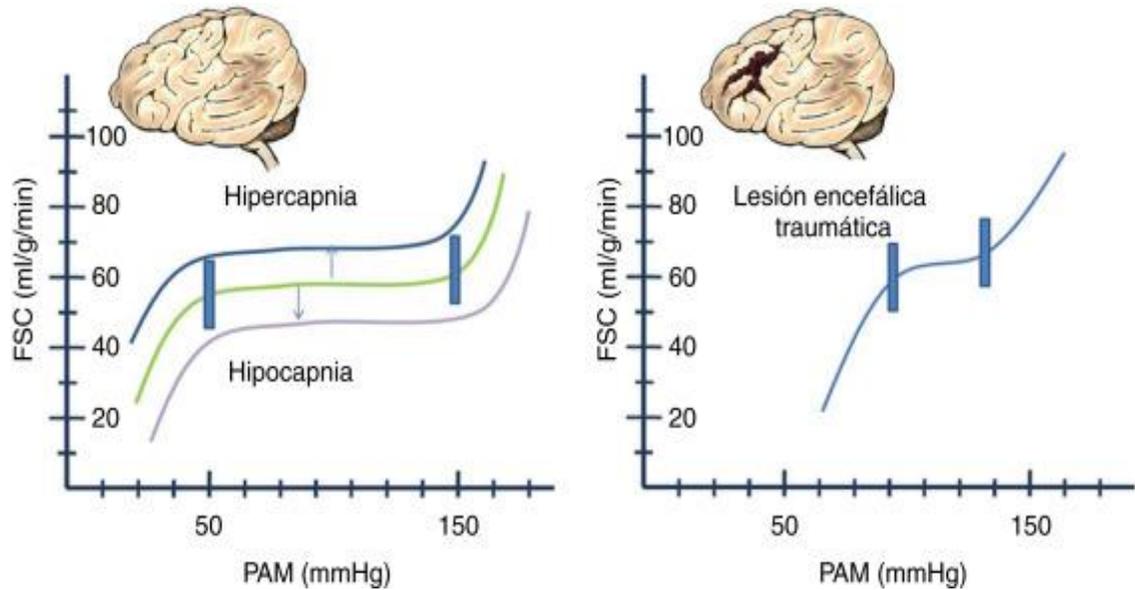
Se deriva de la ley de ohm que la presión de perfusión cerebral (PPC) es igual a la presión arterial media (PAM) menos la presión intracraneana (PIC)

$$PPC = PAM - PIC$$

De esta manera hay una estrecha relación entre la PIC y la PPC.

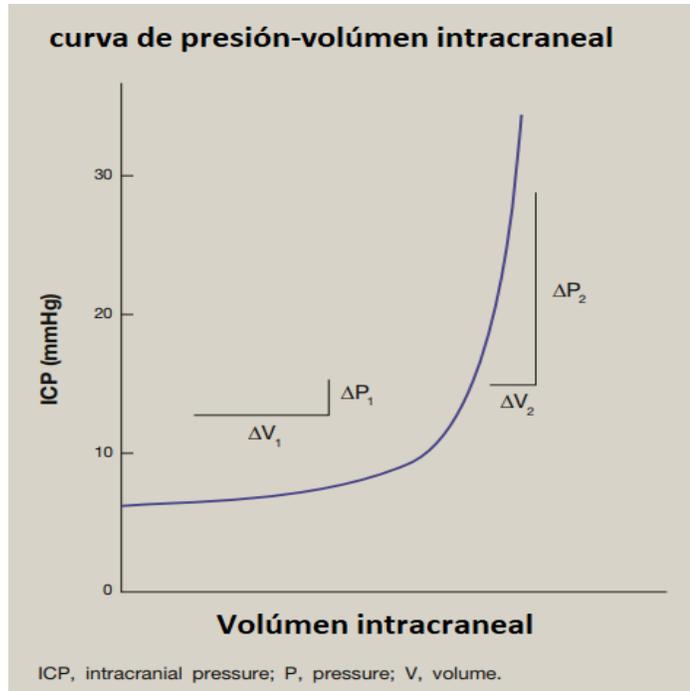
5.2.3 Autoregulación. El flujo sanguíneo cerebral (FSC) se mantiene constante gracias a un mecanismo de autorregulación basado en la vasorreactividad cerebral en un rango de presiones arteriales medias (PAM) de 50 a 120mmHg y gracias a la regulación metabólica (CO₂ – O₂) (18), patologías como el TCE o la apoplejía, la hipoxia o la hipercapnia, pueden modificar el umbral de funcionamiento normal de estos mecanismos, favoreciendo la aparición de hipertensión endocraneana; PAM por encima o por debajo de estos límites afectarían directamente el FSC.

Figura 2. Flujo sanguíneo cerebral en función de la presión arterial media, tomado de Sabinston, tratado de cirugía 20° edición capítulo 67.



5.2.4 Tejido encefálico. La capacidad de adaptación intracraneal a los cambios de presión se conoce como la distensibilidad o complacencia cerebral y tiene unos límites fisiológicos que una vez agotados favorecen cambios bruscos o exponenciales de la presión intracerebral por modificaciones de volumen. Esto revela el rápido deterioro clínico que ocurre una vez alcanzados los límites fisiológicos(19).

Figura 3. Curva de presión-volumen intracraneal. Adaptado de Anaesthesia & Intensive Care Medicine, Volume 17, Issue 12, December 2016, Pages 611-612



De estos tres elementos, tal vez el de mayor relevancia sea el componente sangre pues por un lado el tejido cerebral es constante y por otro lado la producción de LCR es lenta por lo que por su baja producción no genera cambios rápidos en la PIC.

5.3 FISIOPATOLOGÍA

Podemos agrupar los efectos intracraneales de la hipertensión endocraneana en dos: 1) los que comprometen el flujo sanguíneo al tejido cerebral y 2) los que lesionan directamente los tejidos intracraneales por efecto de masa. En el primero el trastorno subyacente responde al desbalance entre la presión de perfusión cerebral (PPC) y la presión intracraneana (PIC) lo que puede derivar en hipoperfusión, isquemia y muerte. Mientras en el segundo el efecto de masa puede lesionar estructuras vasculares o producir herniaciones que conllevan la subsecuente isquemia del tejido desplazado con lesión tisular y según la estructura comprometida, riesgo de muerte(20).

La característica común a los dos mecanismos es el potencial desarrollo de edema cerebral que favorece el aumento de la PIC generando una paradoja circular al aumentar la hipoperfusión, hipoxia y daño tisular consecuente.

5.4 MANIFESTACIONES CLÍNICAS

Las manifestaciones clínicas habituales derivadas de la hipertensión endocraneana abarcan la cefalea la cual está mediada por la inervación del trigémino a la duramadre y vasos sanguíneos, náuseas, vómitos y deterioro del estado de conciencia, en caso de progresión se puede presentar posturas de decorticación o descerebración, hemiparesia contra o ipsilateral, anomalías pupilares, anomalías oculomotoras, inestabilidad hemodinámica y respiratoria (21).

Dentro de los signos más frecuentes descritos encontramos el edema papilar a la fundoscopia y la triada de Cushing (hipertensión arterial, bradicardia y ritmo respiratorio irregular), esta última como manifestación tardía y cercana a la herniación.

6 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA PRESIÓN INTRACRANEANA

Mantener una adecuada presión de perfusión cerebral es uno de los objetivos de manejo de pacientes con hipertensión endocraneana, lo que hace deseable conocer las variables que la conforman (PAM y PIC) de allí que monitorizar la PIC nos puede llevar a tomar conductas que optimicen el manejo de nuestros pacientes.

Podemos dividir los métodos de medición de la presión intracraneana en métodos *invasivos* y *no invasivos*

6.1 MÉTODOS INVASIVOS

Hoy día los métodos invasivos son predominantes y pueden ocupar varias localizaciones: intraparenquimatosas, epidural, subdural, subaracnoidea, intraventricular e incluso por punción lumbar. La ubicación anatómica más frecuente para medir la PIC es el asta anterior de los ventrículos laterales.

6.1.1 Catéter de ventriculostomía. Es el “patrón de oro” de la monitoria de la PIC, requiere abordaje quirúrgico, su lectura es simple, permite drenaje de LCR para manejo de hipertensión endocraneana, es colocado en el ventrículo lateral a través del tejido cerebral y la presión es medida por un sensor externo, medida que puede ser dinámica. Dentro de sus desventajas puede haber falsa lectura por fugas, tiene alto riesgo de infección, sangrado durante su colocación y lesiones de estructuras cerebrales (22).

6.1.2 Dispositivos de microsensado. Otorgan lecturas semejantes a los catéteres intraventriculares, son mínimamente invasivos y tienen un desplazamiento mínimo si se colocan por unos pocos días, útiles especialmente cuando no es necesario el drenaje de LCR. Los hay de fibra óptica o de impedancia eléctrica(23).

6.1.3 Dispositivos epidurales y subdurales. Son pequeños sensores que se introducen inmediatamente por encima (epidurales) y por debajo (subdurales) de la duramadre, su lectura es inexacta y no permiten drenaje de LCR, con la desventaja del riesgo de sangrado e infecciones asociados a su colocación(24).

6.1.4 Intraparenquimatosos. Consisten en un cable delgado con un transductor electrónico que se inserta bajo abordaje quirúrgico con menor riesgo de infección

que los intraventriculares pero con la desventaja de no poder drenar LCR(22).

6.1.5 Subaracnoideos. Son sistemas acoplados a fluidos dentro de un tornillo hueco que puede colocarse a través del cráneo adyacente a la duramadre, la duramadre se perfora y permite la comunicación del espacio subaracnoideo con el transductor, tienen bajo riesgo de infección y de sangrado pero también se obstruyen fácilmente y su lectura se vuelve imprecisa(24).

6.2 MÉTODOS NO INVASIVOS

Debido al potencial riesgo de complicaciones de los dispositivos *invasivos* (sangrado, lesión neurológica, infección), ha sido creciente el interés en el registro *no invasivo* de la PIC, buscando métodos con una precisión clínica aceptable que permita toma de decisiones.

6.2.1 Oftalmodinamometria venosa. La presión intracraneana se transmite a la vena retiniana central permitiendo la estimación de la misma según hallazgos en la presión de salida venosa(25). Este procedimiento requiere dilatación de la pupila para su realización por lo que puede alterar uno de los signos clínicos evaluados en pacientes con hipertensión endocraneana.

6.2.2 Desplazamiento de la membrana timpánica. Utiliza un audiómetro de impedancia y mide el desplazamiento de la membrana timpánica en respuesta al estímulo acústico, basado en el hecho que la presión intracraneana se transmite a la membrana timpánica (26), requiriendo para su realización un reflejo estapedial intacto, un conducto coclear patente y una presión normal del oído medio(27).

6.2.3 Tonometria. Técnica de medición de presión intraocular con escasa literatura que soporta su uso y correlación con la presión endocraneana (28). Documentos más recientes no encuentran una relación o una predicción adecuada de este método (29)(30)(31).

6.2.4 Doppler transcraneal. Mide la velocidad del flujo sanguíneo en la circulación cerebral proximal y puede estimar la presión intracraneana a partir de cambios en la forma de las ondas, su medición carece de precisión suficiente para estimación de la PIC, pero sigue siendo llamativo en la localización de zonas de isquemia. Requiere amplia experiencia del operador, obtener una “ventana ecográfica” óptima

y no permite la medición continua de la PIC (26).

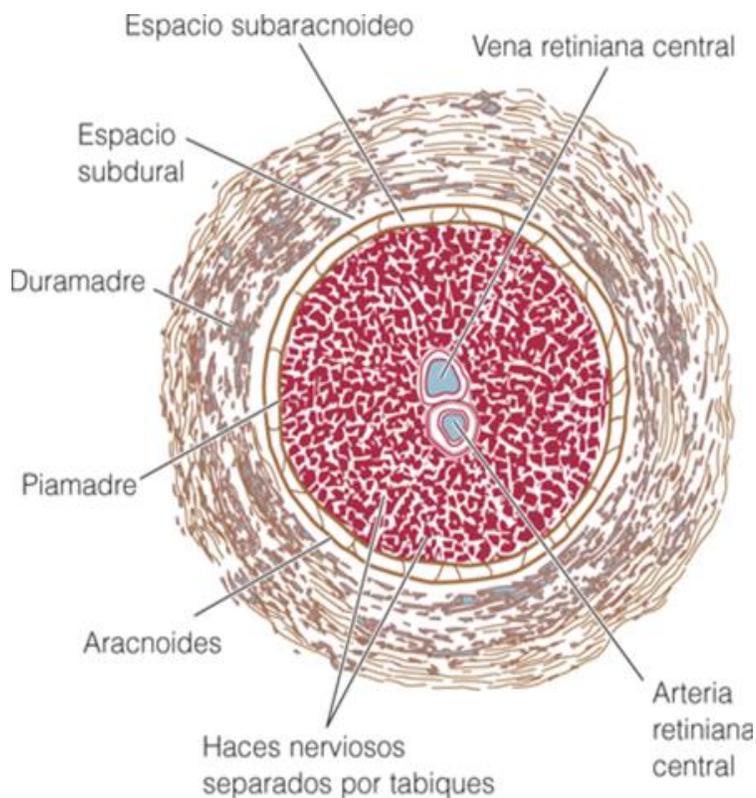
6.2.5 TAC y Resonancia magnética. Tecnologías como la tomografía axial computarizada (TAC) y resonancia magnética (RM), no siempre están disponibles, requieren el traslado y movilización de los pacientes que además en ocasiones están en condiciones críticas, son limitados para monitoria continua, son costosos y poco prácticos. En caso de hallazgo de lesiones ocupando espacio (tumor, hematomas, desplazamiento de la línea media), la conclusión sobre el aumento de la PIC es casi obvia pero en ausencia de estos hallazgos, el TAC se relaciona pobremente en las primeras horas con el desarrollo de hipertensión endocraneana (32), y la RM tampoco presenta evidencias de hipertensión endocraneana en casos de TCE y concusión (33). Dada la relación entre volumen intracraneal y presión, en el caso de la RM existe una técnica basada en principios de dinámica de fluidos para determinar PIC a través del flujo sanguíneo y de líquido cefalorraquídeo el cual varía con respecto al pulso (sístole – diástole) (34), se utiliza una técnica de imagen sensible al movimiento basada en imágenes de alta resolución con contraste de fase codificadas por velocidad y se obtiene un índice de elastancia.

Por medio de estas imágenes, TAC y RM, también es posible evaluar la vaina del nervio óptico que en caso de ensanchamiento estaría relacionado con el hallazgo de hipertensión endocraneana(35).

7 DIÁMETRO DE LA VAINA DEL NERVIÓ ÓPTICO

El diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO), refleja de manera indirecta la presión intracraneana al ser una continuación del sistema nervioso central. Esta estructura acompaña en su recorrido al nervio óptico el cual está recubierto por líquido cefalorraquídeo (LCR) y meninges(36)(37). El flujo del LCR ocurre a nivel del nervio óptico a través de una compleja estructura trabecular en sentido unidireccional, con drenaje del mismo a través de vasos linfáticos propios de la duramadre(38), mecanismo que podría verse alterado con cambios de las presiones intracerebrales generando cambios en el DVNO.

Figura 4. Corte transversal del nervio óptico. Tomado de Vaughan y Asbury. Oftalmología General, 18° edición, 2012, Capítulo 1.



La ultrasonografía puede revelar elevaciones de la presión intracraneana por medio de la medición del DVNO la cual se realiza a 3 mm de la papila(39), logrando también una correlación directa y rápida con el aumento agudo de presión intracerebral(36).

Figura 5. Diagrama de la evaluación ecográfica del diámetro de la vaina del nervio óptico. Tomado de Ann Emerg Med. 2007; 49:508–14.

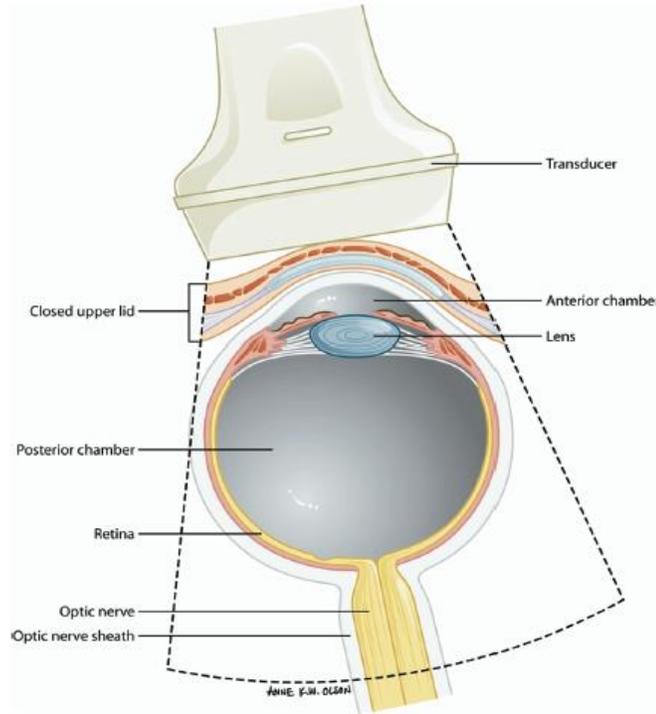
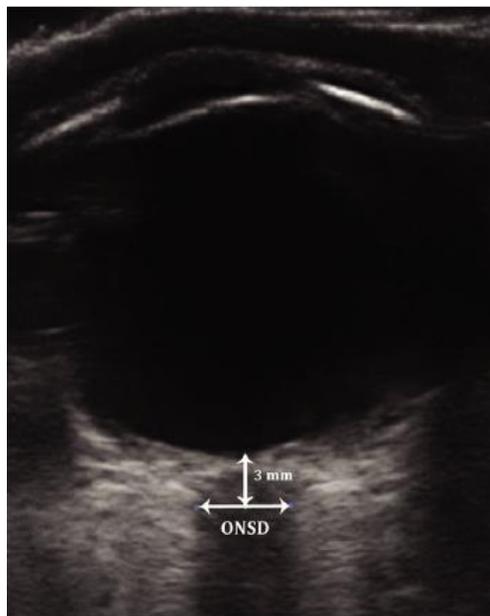


Figura 6. Técnica de medición ecográfica del DVNO. Tomado de Anesthesia. 2017; May;72(5):618-623.



El nervio óptico se proyecta desde la superficie posterior del globo ocular llevando los axones que emergen de las células de la retina, viaja por el cono muscular (formando el segmento orbitario del nervio óptico), y por último ingresa a la bóveda craneana a través del canal óptico, junto con el paso de vasos sanguíneos. A su vez, la cavidad orbital está cubierta por una delgada capa de periostio (fascia de tenon) que una vez al interior del cráneo se continúa con la duramadre formando la vaina del nervio óptico(40).

Por otro lado, las meninges se continúan desde su porción intracraneal acompañando el nervio óptico hasta el globo ocular, formando espacios virtuales entre ellas, permitiendo la dilatación del espacio subaracnoideo con los aumentos de presión del líquido cefaloraquídeo(41).

El nervio óptico continúa su desarrollo postnatal y tiene un incremento progresivo atribuido a mielinización, alcanzando entre los 4 y 5 años el diámetro del adulto(39).

Como fue demostrado en los experimentos del doctor Hayreh, descrito en 1984, la vaina del nervio óptico justo detrás del globo ocular permanece libre y es fácilmente distensible, a diferencia de la porción que transcurre por el canal óptico donde se encuentra firmemente adherida por múltiples bandas fibrosas al hueso y entre la duramadre y la piamadre(42), de allí que la medición ecográfica se realice 3 milímetros por detrás del globo ocular, donde la máxima distensión de la VNO puede reflejar cambios en la presión intracraneal del LCR.

la medición del DVNO ha reportado poca variabilidad intra e interobservador (43) con una baja curva de aprendizaje estimada en diez medidas para ecografistas con experiencia que incluya tres mediciones anormales y 25 exámenes para personal no experimentado en ultrasonografía (10).

Como vemos a pesar de los distintos métodos descritos, la medición invasiva continúa siendo el método más fidedigno, no obstante, los métodos no invasivos han ganado popularidad. En éste trabajo destacamos la versatilidad y facilidad de la medición ecográfica de la vaina del nervio óptico y pretendemos profundizar en su estudio pues a pesar de los diferentes trabajos en el campo, no hay acuerdo en el punto de corte que debe ser utilizado para evaluar el aumento de la PIC habiendo encontrado variabilidad interindividual(44), por lo que se hace necesario determinar valores de nuestra población.

Destacamos los resultados encontrados al comparar distintos métodos ecográficos no invasivos como DVNO y otros más modernos de estimación de presión intracraneana como flujo sistólico del seno recto, índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media y velocidad de flujo diastólico de arteria cerebral media a través de doppler transcraneal, trabajo en el cual la correlación más fuerte con la presión intracraneana la tuvo el DVNO(45).

8 PREGUNTA PICO

Población	Pacientes adultos neurológicamente sanos ASA I ó II programados para cirugía ambulatoria en el Hospital Universitario Hernando Moncaleano Perdomo o Personal asistencial y/o estudiantes de medicina y/o de enfermería que realicen sus actividades en el Hospital Universitario de Neiva entre enero de 2018 y diciembre de 2019.
Intervención	Medición ultrasonográfica del Diámetro de la Vaina del Nervio Óptico
Comparador	No
Outcome (desenlace)	Valores normales del diámetro de la Vaina del Nervio Óptico en la población a estudio.

9 HIPÓTESIS

El diámetro de la vaina del nervio óptico en pacientes saludables de nuestra población varía respecto a los rangos descritos en la literatura para poblaciones asiáticas y europeas que es donde se encuentran los mayores estudios de “normalidad”.

10 METODOLOGIA

10.1 TIPO DE ESTUDIO

Estudio descriptivo de corte transversal prospectivo

10.2 LUGAR DE ESTUDIO

El presente estudio se realizó en salas de cirugía del Hospital Universitario Hernando Moncaleano Perdomo en Neiva - Huila, Colombia. Institución de cuarto nivel de complejidad y centro de referencia de la región sur de Colombia con influencia en los Departamentos del Huila, Caquetá, Putumayo y sur del Tolima. Con una cifra cercana a los 19.000 procedimientos quirúrgicos por año.

10.3 PERÍODO DE ESTUDIO

Los datos fueron colectados desde el 01 de julio de 2018 hasta el 31 de octubre de 2019, en el periodo de la mañana/tarde.

10.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

Se realizó un muestreo por conveniencia tomando dos subgrupos de personas:

Grupo 1. Pacientes neurológicamente sanos programados de manera ambulatoria para cirugía.

Grupo 2. Personal asistencial y/o estudiantes de medicina y/o de enfermería neurológicamente sanos que realizan sus labores en el Hospital Universitario de Neiva.

Para ambos grupos se definió la siguiente serie de criterios de inclusión y de exclusión.

10.4.1 Criterios de inclusión

Pacientes ASA I y II

Mayores de 18 años

Programados ambulatorios para cirugía en el HUHMP/Personal asistencial y/o estudiantes de medicina y/o enfermería

10.4.2 Criterios de exclusión

Enfermedad conocida del nervio óptico

Historia de glaucoma

Enfermedad neurológica conocida activa o como antecedente

Embarazadas

Rechazo del paciente a participar en el estudio

Para el cálculo del tamaño muestral, se utilizó la fórmula para poblaciones infinitas, tomando como varianza poblacional el valor medio de la varianza referida en los diferentes estudios, tomando como referencia un valor promedio de varianza (σ^2), con un nivel de confianza (z) del 95% y un error estándar (d) del 10%.

$$Z=1,96$$

$$\sigma^2=0,3$$

$$d=0,1$$

$$n=Z^2 \frac{\sigma^2}{d^2}$$

$$n=115,2$$

El total de personas estudiadas se dividió en dos grupos; el primer grupo exclusivamente de pacientes del hospital al cual se le realizó las lecturas en su mayoría por un investigador y un porcentaje de esta población por los dos investigadores y un segundo grupo con personal del hospital (no pacientes) a los que se les aplicó la misma metodología.

10.5 ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL DE SESGOS

Uno de los principales sesgos que pudo presentarse en el estudio fue el sesgo de medición debido al observador, por tal motivo dentro de la metodología se contempló la realización de una medición comparativa al 40% de las personas participantes. Adicionalmente se contó con instrumentos con calibración verificada por parte del equipo de ingeniería biomédica del Hospital Universitario de Neiva.

De igual manera, los investigadores involucrados en las medidas del DVNO, realizaron una capacitación teórica y práctica sobre la técnica antes de iniciar a realizar las mediciones del estudio.

Para el control del sesgo de información se confrontó la información suministrada por los participantes pacientes contra la historia clínica.

No se consideraron sesgos de selección toda vez que la medición del nervio óptico no es posible de verse influenciada por el voluntariado en la participación del estudio. De igual manera, el propósito de evaluación en adultos saludables se verificó para los pacientes con la valoración pre anestésica que los clasificó como ASA I o II.

10.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

En días aleatorios de cirugía programada en el Hospital Universitario Hernando Moncaleano Perdomo de Neiva, se abordó a los pacientes en la sala pre anestésica y previa explicación resumida del proyecto se obtuvo consentimiento informado de aquellos que cumplieron los criterios de inclusión para proceder a realizar medición del DVNO y de las otras variables del estudio. Seguidamente, los investigadores encargados de la medición realizaron la recopilación de la información en un instrumento diseñado en la aplicación de entrevistas (Google forms), de acceso gratuito, el uso de esta herramienta permitió la construcción de la base de datos simultáneamente con la recopilación de la información logrando así la posterior tabulación de la información de acuerdo con las variables definidas en el estudio y a los objetivos planteados.

Para cada una de las variables y las mediciones se procedió de la siguiente manera:

10.6.1 Medición del diámetro de la vaina del nervio óptico. La evaluación ultrasonográfica del ojo se realizó en modo B usando un equipo de ultrasonido PHILIPS iE33 previamente adquirido por el Hospital Universitario Hernando Moncaleano Perdomo, con un transductor L15-7io que abarca un rango de frecuencias de 7 a 15 MHz según manual del fabricante.

Para evitar cambios por dependencia en la PIC los sujetos fueron ubicados en posición supina con el torso y cabeza elevados entre 20 a 30°, la sonda se colocó en el párpado superior cerrado del ojo izquierdo, para comodidad de los investigadores y en la parte superoexterna, utilizando una capa de gel transductor entre la sonda y el párpado. Para la ubicación del punto de medición del DVNO se tomó un plano axial en donde se logró ubicar papila y nervio óptico y en sentido longitudinal a 3 mm de la papila, se tomó el DVNO utilizando marcadores electrónicos “calipers”.

Las mediciones fueron realizadas por dos observadores en un 40% de las personas de cada grupo para comparación de la medición entre observadores; el restante 60% de cada grupo fue evaluado de manera individual por un observador.

10.6.2 Variables demográficas, antropométricas y clínicas. Las variables relacionadas con la información demográfica como edad y sexo fueron preguntadas directamente al participante, con confrontación en historia clínica para aquellos que eran pacientes. La recopilación de los datos antropométricos fue realizada inmediatamente se hicieron las medidas, las cuales fueron tomadas con los instrumentos recomendados para la valoración antropométrica de la población colombiana de acuerdo con la Resolución 2465 de 2016 del Ministerio de Salud. La información de las comorbilidades fue preguntada al paciente y confrontada contra el registro de anestesia y la historia clínica, las cuales se asumen como controladas como está implícito en la clasificación en ASA II del paciente.

La medición de la presión arterial se realizó por parte de los investigadores utilizando un esfigmomanómetro de mercurio previamente certificada su calibración, registrando los valores de TA sistólica, diastólica y el cálculo de la PAM.

10.7 PRUEBA PILOTO

Se realizó prueba piloto con 10 voluntarios de la institución entre el personal médico en formación con el propósito de validar el instrumento, confirmar la calibración de los instrumentos de medición y establecer una aproximación a los valores de la variable principal del estudio, los cuales fueron evaluados por dos observadores

10.8 VARIABLES

La definición, características y tipo de medición que se realizó con cada variable estuvo de acuerdo con los objetivos trazados en el presente proyecto, descritas en la tabla de “Operacionalización de Variables”.

10.8.1 Operacionalización de variables

Variable	Definición	Indicadores o categorías	Nivel de medición	Índice
Edad	Edad cronológica en años	No. de años	Cuantitativa continua	Medidas de tendencia central y dispersión
Genero	Característica sexual biológica	1. Masculino 2. Femenino	Cualitativa	Frecuencias absolutas y relativas
Clasificación ASA	Escala de estratificación del estado físico preoperatorio	1. Uno 2. Dos	Cualitativa	Frecuencias absolutas y relativas
Peso	Medida de fuerza gravitatoria ejercida sobre un sujeto	Kilogramos	Cuantitativa	Medidas de tendencia central y dispersión
Talla	Estatura de una persona	Metros	Cuantitativa	Medidas de tendencia central y dispersión

Índice de masa corporal	Relación entre la talla y peso de una persona	Kg/m ²	Cuantitativa	Medidas de tendencia central y dispersión
Nacionalidad	Condición de pertenencia a un estado o nación	Origen natal	Cualitativa	Frecuencias absolutas y relativas
Presión Arterial	Fuerza por unidad de superficie que ejerce la sangre al circular por las arterias. Se tomará la PA Sistólica, PA diastólica, PA media calculada.	Valor en mmHg	Cuantitativa	Medidas de tendencia central y dispersión
Diámetro de la vaina del nervio óptico	Medición ecográfica del tamaño de esta estructura anatómica	Valor en milímetros	Cuantitativa continua	Medidas de tendencia central y dispersión
Comorbilidades (controladas)	Enfermedades de tipo crónico que se encuentra con control clínico, paraclínico y metabólico.	Hipertensión arterial Diabetes mellitus Obesidad Hipotiroidismo Otros	Cualitativa	Frecuencias absolutas y relativas

10.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico se realizó cálculo de medidas de tendencia central (media, mediana y moda) y de dispersión (desviación estándar, varianza e intervalos de confianza) para el DVNO según las diferentes variables definidas. Se realizó evaluación de la normalidad de la variable central de estudio mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov o Shapiro-Wills y seguidamente comparación de las medias

del valor del DVNO entre los diferentes subgrupos según las variables definidas con la prueba estadística pertinente de acuerdo a la normalidad o no de la variable, estableciendo como nivel de significancia estadística una $p < 0,05$. Adicionalmente se evaluó la confiabilidad intra observador e inter observador de las mediciones realizadas mediante los índices alfa de Cronbach, Coeficiente de Correlación Intraclases y el método gráfico de Brand-Altman (este último sólo para la confiabilidad inter observadores), adicionalmente se calculó medida de asociación mediante prueba t de Student para comparar las medias de las medidas intra e inter observador con un valor de significancia de 0,05. Para las diferentes medidas de confiabilidad se utilizaron los siguientes rangos: $< 0,40$ – Pobre, $0,40 - 0,59$ – Suficiente, $0,60 - 0,74$ – Bueno, $0,75 - 1$ – Excelente. El planteamiento del modelo predictivo se realizó mediante un análisis de regresión múltiple. El software estadístico utilizado fue el programa SPSS, versión adquirida por la Universidad Surcolombiana debidamente licenciado.

11 RESULTADOS

11.1 VARIABLES SOCIODEMOGRÁFICAS Y CUANTITATIVAS

En total se recolectaron datos para 121 pacientes, de los cuales no fue necesario excluir ninguno del análisis ya que todos los individuos recolectados cumplían los criterios de selección.

11.2 VARIABLES SOCIODEMOGRÁFICAS EN LA POBLACIÓN A ESTUDIO

Se analizó la información de 121 pacientes entre el periodo comprendido desde el 01 de julio de 2018 y hasta el 31 de octubre de 2019. La edad media de la población de estudio fue 39,6 +/- 14,6, la mediana fue 37 años y la moda 31 años, con una edad mínima de 18 y máxima de 82 años. La población tuvo un peso medio de 69,9 +/- 14,3 kg, con una mediana de 69 y una moda de 70 kg, un peso mínimo de 42 y máximo de 120 kg, una estatura media de 1,64 +/- 0,1 metros, con una mediana de 1,64 y una moda de 1,60 metros, una talla mínima de 1,45 y máxima de 1,85 metros, el índice de masa corporal (IMC) para ésta misma población contó con una media de 26 +/- 4,7 kg/m², una mediana de 25,4 y una moda de 22,2 kg/m², con un índice de masa corporal mínimo de 16,6 y máximo de 37,9 kg/m². La presión arterial sistólica promedio fue de 116,2 +/- 15,4 mmHg con una mediana de 113 y una moda de 113 mmHg, un valor máximo de 166 y mínimo de 88 mmHg mientras que para la presión arterial diastólica el promedio fue de 70,8 +/- 8,6 mmHg, una mediana de 70 y moda de 71 mmHg, un valor máximo de 100 y mínimo de 47 mmHg. La presión arterial media se obtuvo de la siguiente fórmula $((2 \text{ PAD} + \text{ PAS})/3)$, obteniendo una media de 85,9 +/- 9,8 mmHg con una mediana de 85 y moda de 84,7 mmHg, un valor mínimo de 63 y máximo de 116,3 mmHg.

Tabla 1. Caracterización de la población para la medición del diámetro del nervio óptico.

Variable	N	%
Sexo		
- Femenino	76	62,8%
- Masculino	45	37,2%
Edad*		
- Juventud	33	27,3%
- Adultez	78	64,5%
- Vejez	10	8,3%
IMC+		
- Delgadez	4	3,3%
- Normal	53	43,8%
- Sobrepeso	44	36,4%
- Obesidad	20	16,5%
TA°		
- Hipertensión	10	8,3%
- Prehipertensión	38	31,4%
- Normal	73	60,3%
ASA		
- 1	50	41,3%
- 2	71	58,7%
Comorbilidad		
- Ninguna	50	41,3%
- Sobrepeso/Obesidad	53	43,8%
- Otra	18	14,9%
Participante		
- No paciente	80	66,1%
- Paciente	41	33,9%

*Juventud: 14 – 26 años; adultez: 27 – 59 años; vejez: > 60 años

+Delgadez: < 18,4; Normal: 18,5 – 24,9; sobrepeso: 25 – 29,9; obesidad: > 30

°Normal: < 130/<85; Prehipertensión: <140/<90; Hipertensión: >140/>90

El 76% de la población total correspondió al género femenino, agrupamos los pacientes por edades de acuerdo a la etapa vital correspondiente, también por índice de masa corporal, encontrando que la mayoría de la población del estudio estaba por encima de los límites normales, se subclasificaron también de acuerdo su presión arterial encontrando la mayoría de la población normotensa y según el estado físico en donde la mayoría de la población fue ASA 2.

11.3 NORMALIDAD DE LA VARIABLE CENTRAL DE ESTUDIO

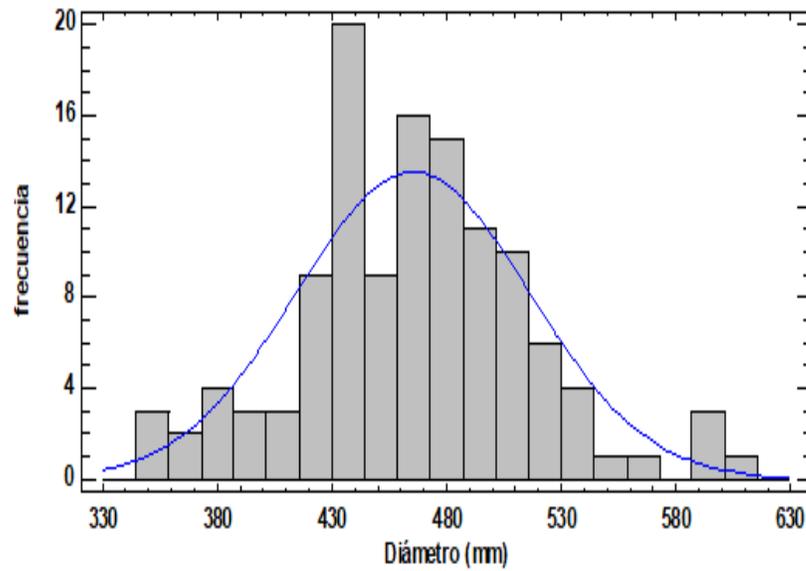
Se realizó evaluación de la normalidad de la variable central de estudio (DVNO) con prueba de kolmogorov-smirnov con la cual podemos describir que se obtuvo una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 2. Prueba de Kolmogorov-Smirnov de normalidad.

	Normal
DMAS	0,0488447
DMENOS	0,0683642
DN	0,0683642
Valor-P	0,62379

En la gráfica a continuación ilustra la normalidad de la distribución de la población estudiada

Gráfica 1. Histograma de distribución del DVNO.



Al asociar los valores obtenidos del DVNO y agruparlos por clasificación de las variables encontramos que no hay asociación entre el DVNO y el género, el IMC y la presión arterial. No obstante, si hubo asociación entre el DVNO y la edad, la clasificación ASA y tener alguna comorbilidad.

Tabla 3. Comparación del diámetro del nervio óptico de acuerdo a características demográficas y clínicas.

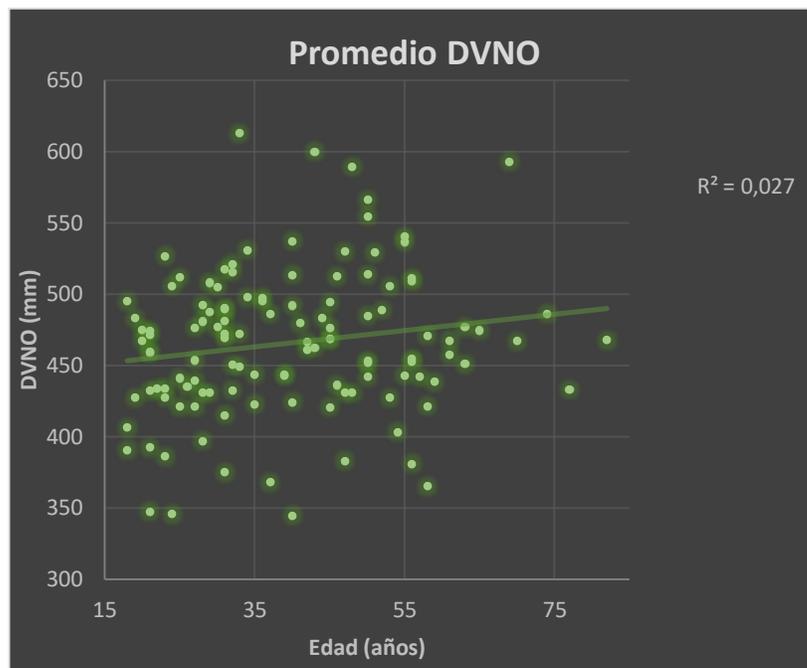
Variable	N	Media	IC95%	rango	DE	p
Sexo						
- Masculino	Si	4,74	4,59-4,90	3,50-5,99	0,51	0,198
- Femenino	Si	4,62	4,50-4,74	3,47-6,22	0,54	
Edad						
- Juventud	Si	4,44	4,28-4,60	3,50-5,40	0,45,	0,013**
- Adultez	Si	4,75	4,63-4,87	3,47-6,22	0,55	
- Vejez	No	4,80	4,47-5,12	4,37-6,01	0,45	
IMC						
- Delgadez	Si	4,45	3,16-5,73	3,80-5,52	0,81	0,051*
- Normal	Si	4,54	4,42-4,67	3,47-5,49	0,44	
- Sobrepeso	Si	4,74	4,58-4,90	3,52-5,99	0,53	
- Obesidad	Si	4,89	4,59-5,18	3,86-6,22	0,62	
Tensión arterial						
- Normal	Si	4,63	4,52-4,74	3,47-5,96	0,47	0,790*
- Prehipertensión	Si	4,69	4,50-4,89	3,62-6,22	0,59	
- Hipertensión	Si	4,88	4,35-5,40	3,89-6,01	0,73	
ASA						
- 1	Si	4,53	4,39-4,67	3,47-5,52	0,49	0,017
- 2	Si	4,76	4,64-4,89	3,52-6,22	0,54	
Comorbilidad						
- Ninguna	Si	4,53	4,39-4,67	3,47-5,52	0,49	0,039*
- Sobrepeso	Si	4,73	4,59-4,87	3,52-6,22	0,52	
- Otras	Si	4,86	4,56-5,17	3,89-6,01	0,62	
Participante						
- Paciente	Si	4,84	4,67-5,01	3,62-6,01	0,55	0,009
- No paciente	Si	4,57	4,47-4,69	3,47-6,22	0,50	
Total	Si	4,66	4,57-4,75	3,47-6,22	0,53	--

N = normalidad; * ANOVA; ** Kruskal-Wallis.

11.4 RELACIÓN DE VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS CON DVNO

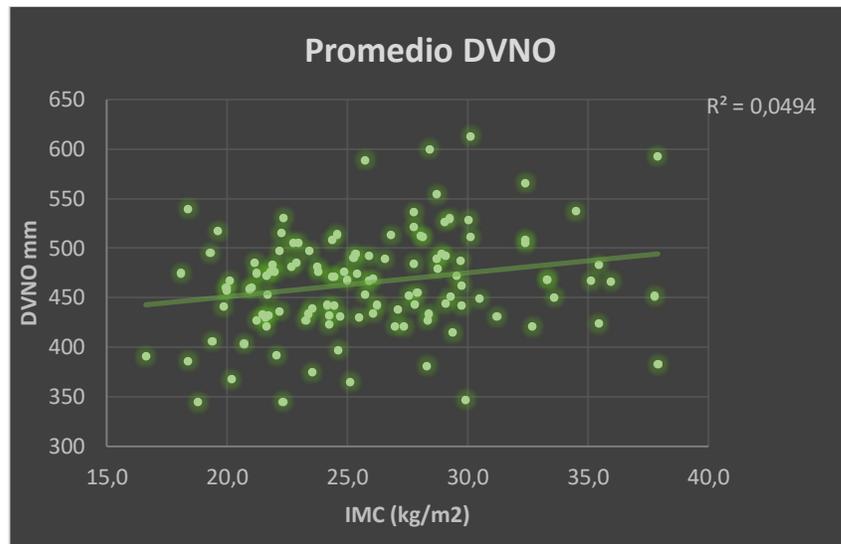
La información analizada permite ver que hay una correlación positiva entre la edad y el promedio del DVNO pero que no llega a ser significativa $R^2 = 0,027$

Grafica 2. Comparación variable: DVNO vs edad.



Igualmente, al correlacionar los valores del promedio del DVNO con el IMC encontramos también una correlación positiva, pero sin ser significativa.

Grafica 3. Comparación de variables: DVNO vs IMC.



Análisis de varianza comparando DVNO promedio con edad, estatura, peso y género.

Al realizar el análisis de varianza con la población estudiada y sin discriminar por subgrupos, el DVNO no tuvo relación con el género, edad, peso, talla, IMC, PAM

Tabla 4. Análisis de varianza: DVNO vs variables.

Variable	P valor
Genero	0,169
Edad	0,85
Peso	0,11
Estatura	0,44
IMC	0,63
PAM	0,25

*P < 0,05 indica significancia estadística

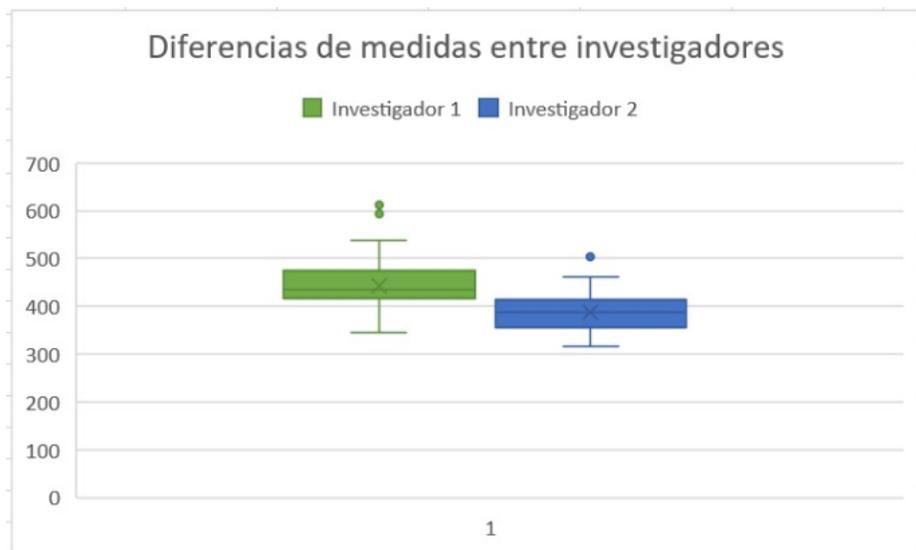
11.5 RELACIÓN INTEROBSERVADOR DEL PROMEDIO DEL DVNO

Tabla 5. Relación promedio DVNO interobservador.

INVESTIGADOR	Promedio DVNO pacientes evaluados por 2 observadores
Investigador 1	4,44 mm
Investigador 2	3,88 mm
Diferencia promedio interobservador	0,56 mm

El valor promedio del DVNO en el porcentaje de pacientes evaluados por los dos investigadores tuvo un valor de 4,44 milímetros para el investigador # 1 y 3,88 milímetros para el investigador # 2. De allí se obtiene una diferencia promedio interobservador de 0,56 milímetros.

Grafica 4. Diferencia de medias interobservador.



Al comparar las medias de los datos intraobservador observamos que no hubo diferencia estadísticamente significativa entre las tres medidas de cada paciente con ninguno de los investigadores, sin embargo, al comparar los promedios de cada

una de las tres mediciones de cada observador evidenciamos que hay diferencia estadísticamente significativa para el investigador # 2 en la medición 1 vs medición 2.

Tabla 6. Medidas de tendencia central, de dispersión y de asociación intraobservador.

Variable	N	n	Media	IC95%	DE	P
Observador 1						
- Med1	Si	121	4,66	4,57-4,75	0,52	0,983
- Med2	Si	121	4,65	4,55-4,75	0,53	
- Med3	Si	121	4,65	4,56-4,75	0,53	
Med1 vs Med2						0,611
Med1 vs Med3						0,683
Med2 vs Med3						0,905
Observador 2						
- Med1	Si	48	3,97	3,83-4,11	0,50	0,191
- Med2	Si	48	3,81	3,69-3,93	0,41	
- Med3	Si	48	3,85	3,74-3,98	0,41	
Med1 vs Med2						0,020
Med1 vs Med3						0,068
Med2 vs Med3						0,275

Posteriormente se realizó una medida de confiabilidad al dato obtenido de la diferencia intraobservador obteniendo un índice alfa de Cronbach para confiabilidad excelente

Tabla 7. Medidas de confiabilidad intraobservador.

Variable	a	CCI	IC95% CCI
Observador 1	0,962	0,896	0,862 – 0,963
		0,963	0,949 – 0,973
Observador 2	0,867	0,666	0,521 - 0,783
		0,857	0,766 – 0,915

Al realizar la misma prueba para la confiabilidad interobservador encontramos un grado de confiabilidad suficiente.

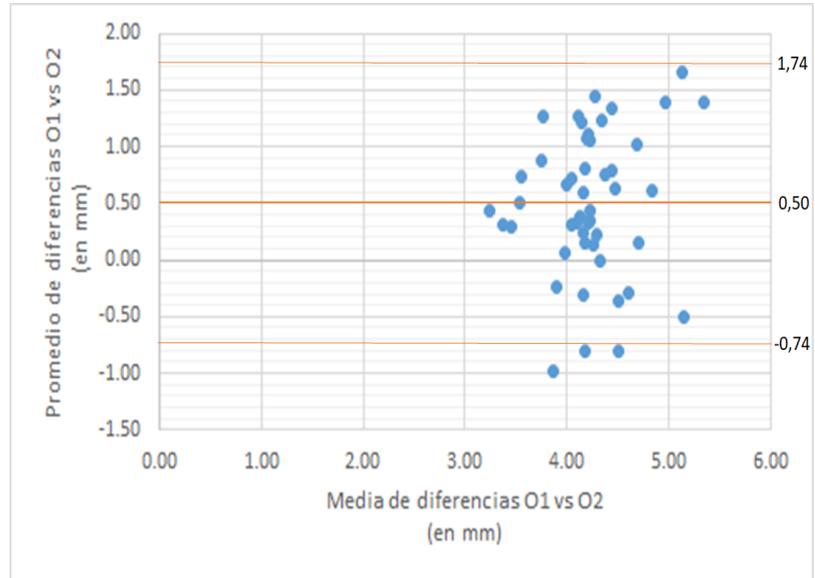
Tabla 8. Medidas de confiabilidad interobservador.

Variable	a	CCI	IC95% CCI	Brand y Altman	
Medida 1	0,470	0,217	0,0 – 0,464	0,50 +/- 1,24	-0,74 – 1,74
		0,357	0,0 – 0,633		
Medida 2	0,500	0,196	0,0 – 0,455	0,59 +/- 1,11	-0,52 – 1,70
		0,327	0,0 - 0,625		
Medida 3	0,42	0,162	0,0 – 0,402	0,58 +/- 1,21	-0,63 – 1,80
		0,279	0,0 - 574		

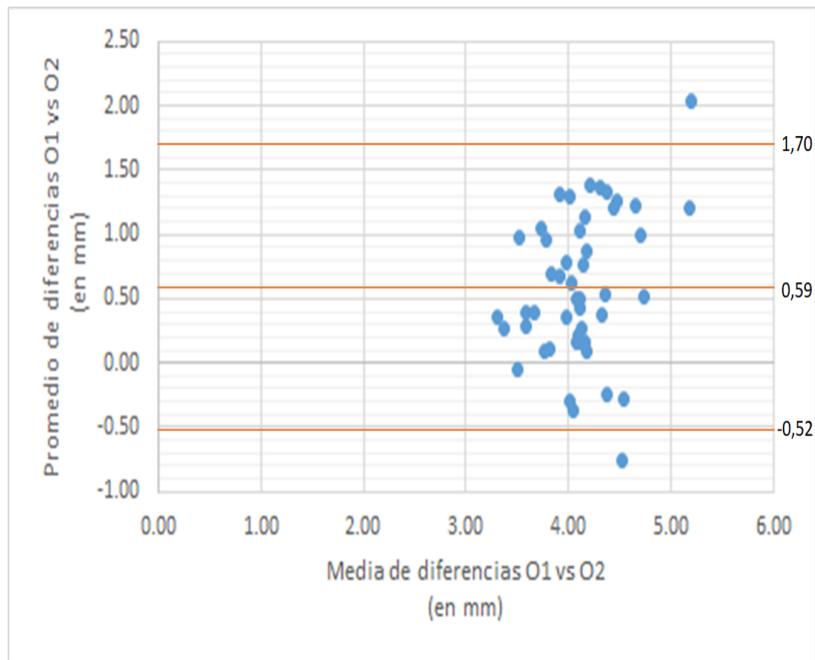
CCI: coeficiente de correlación interclases

Se realizó el gráfico de la dispersión de la confiabilidad interobservador para cada una de las medidas

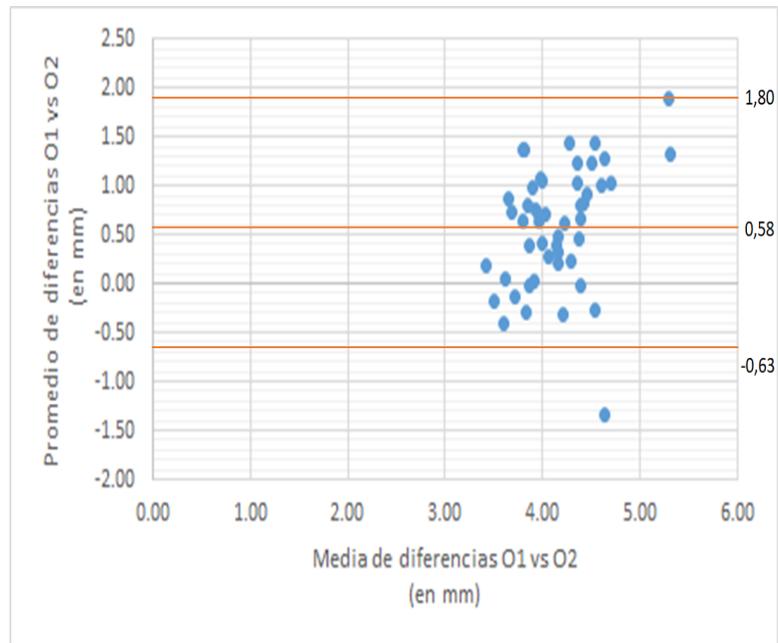
Grafica 5. Confiabilidad de Altman y Brand para la medida 1 interobservador.



Grafica 6. Confiabilidad de Altman y Brand para la medida 2 interobservador.



Grafica 7. Confiabilidad de Altman y Brand para la medida 3 interobservador

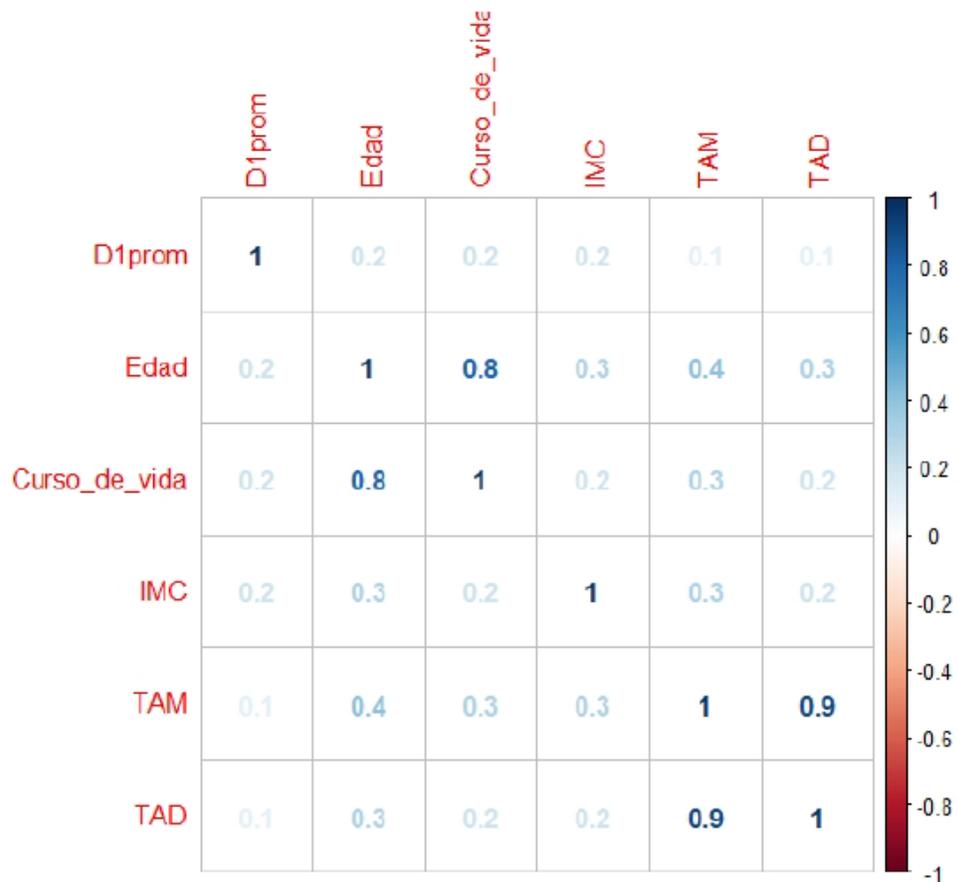


11.6 MODELO PREDICTIVO

Se realizó una regresión lineal múltiple con las variables en estudio con el objetivo de identificar un modelo predictivo para el DVNO. De manera preliminar se realizó el análisis gráfico de dispersión en donde no se identificó un patrón de correlación entre el DVNO y las variables independientes edad e IMC (ver ilustraciones 2 y 3).

Adicionalmente se realizó un cálculo de correlaciones entre las diferentes variables para evaluar las posibilidades de planteamiento de un modelo predictivo para el DVNO (ver ilustración).

Grafica 8. Matriz de correlaciones.



Se evidencia en la ilustración 8 que los valores de las correlaciones entre el DVNO (D1prom) y las variables Edad e IMC son 0,2 para ambas.

Se construyó un modelo en donde a la variable curso de vida se le asignó un valor para cada una de las categorías. Así:

- Curso de vida Juventud=1
- Curso de vida Adultez=2
- Curso de vida Vejez=3

Con esta codificación se obtuvo este modelo:

Tabla 9. Parámetros del modelo predictivo.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	3.8001	0.2770	13.72	0.0000
Curso de vida	0.1869	0.0848	2.20	0.0295
IMC	0.0204	0.0103	1.99	0.0490

```
Residual standard error: 0.5114 on 118 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.08983, Adjusted R-squared: 0.0744
F-statistic: 5.823 on 2 and 118 DF, p-value: 0.003874
```

Modelo:

$$D1prom = 3,8001 + 0,1869 \times \text{Curso de vida} + (0,0204 \times \text{IMC})$$

Este modelo muestra que, aunque las variables independientes son estadísticamente significativas $p < 0,05$. El R^2 es muy bajo y tiene mal poder de predicción y aunque el error es bajo, el modelo no es significativo. Los residuos tienen una distribución normal.

12 CRONOGRAMA DE LA INVESTIGACIÓN (FASES DE INVESTIGACION)

ACTIVIDADES	Enero a junio de 2017	Julio a diciembre de 2017	Enero a junio de 2018	Julio a diciembre de 2018	Enero a junio de 2019	Julio a diciembre de 2019
Revisión de la literatura						
Formulación del proyecto						
Presentación y aprobación del proyecto (revisión temática)						
Diseño metodológico						
Presentación proyecto (metodología)						
Prueba piloto						
Recolección de la información						
Análisis de la información						
Elaboración del documento final						
Presentación trabajo de investigación						

13 CONSIDERACIONES BIOÉTICAS

Por tratarse de una investigación que involucra la participación de seres humanos, el presente estudio se ciñe a las consideraciones estipuladas en las recomendaciones mundiales contenidas en el Informe Belmont de 1978, la Declaración de Helsinki del 2000, la resolución No. 2378 de 2008 artículo II en lo referente a las buenas prácticas clínicas del ministerio de salud de la república de Colombia y la resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud por la cual se establece la presente investigación como de riesgo mayor que el mínimo. Sin embargo, por tratarse de un examen ecográfico no invasivo, se espera cero complicaciones derivadas del estudio.

Se cataloga la investigación como aquella con riesgo mayor que el mínimo pues el direccionamiento del haz de ultrasonido genera movimiento de partículas que a su vez produce calor, desconociendo el potencial daño al nervio óptico que éste acarree, no obstante, destacamos que la ecografía es un método ampliamente utilizado en el ámbito médico y en múltiples tejidos de manera segura incluyendo tejidos en formación como los embrionarios y fetales.

Para la ejecución del presente proyecto se solicitó previamente al comité de Ética Médica del Hospital Universitario Hernando Moncaleano las consideraciones pertinentes y su aprobación.

Toda información fue recogida bajo previa aprobación del paciente y mediante formato de consentimiento informado diseñado para tal fin donde se explicaban los objetivos, justificaciones, beneficios, procedimientos y riesgos para que teniendo la información acerca de éste, se aceptara o no participar en el estudio. Los pacientes que ingresaron al estudio tienen derecho a conocer los resultados de dicha investigación, ya sea durante o al final de su ejecución. Se respetó y guardó total confidencialidad de la información obtenida y no será utilizada en perjuicio de terceros, solamente se utilizó para un interés científico y bajo ninguna circunstancia se mencionaron nombres de manera parcial o total de los participantes, la no aceptación de participación en el estudio, previo, durante o posterior a la recolección de datos, no tiene ni tendrá repercusión alguna sobre el sujeto de estudio.

El instrumento de recolección de datos si bien es en formato electrónico, quedara bajo custodia exclusiva del investigador, con absoluta confidencialidad.

En el presente estudio no tuvimos eventos inesperados ni cambios en el protocolo para notificar al comité de ética.

14 RECURSOS

Costos fijos					
	Recurso humano	Valor unitario	cantidad		Costo final
1	Asesor metodológico	\$2.000.000	1		\$2'000.000
2	Asesor conceptual	\$1.000.000	1		\$1'000.000
3	Asesor bioestadístico	\$2.000.000	1		\$2'000.000
4	Honorarios recolectores datos	\$460.000	2		\$ 920.000
5	Reuniones socialización investigadores y recolectores	\$ 100.000	2		\$ 200.000
				Total	\$6'120.000
Costos variables					
	Materiales	Valor unitario	Cantidad		Costo final
6	Sistema de ultrasonido iE33	\$74'000.000	1		\$74'000.000
6	Computador Toshiba i5	\$1'500.000	1		\$1'500.000
7	Impresora	\$ 90.000	1		\$ 90.000
8	Tinta negra impresora	\$ 40.000	1		\$ 40.000
9	Resma de papel para impresión	\$ 10.000	2		\$ 20.000
10	Servicio internet	\$40.000	12		\$480.000
11	Empastado	\$30.000	3		\$90.000
12	Transporte por visita	\$20.000	100		\$2'000.000
				Total	\$78'220.000
				Gran total	84'340.000

15 DISCUSIÓN

Este estudio analizó el tamaño del DVNO en una población de adultos saludables en Neiva, Huila, Colombia. A nuestro conocimiento es el primer estudio en evaluar un valor ecográfico de normalidad del DVNO en adultos Colombianos.

Se tomó únicamente la medida del DVNO en el ojo izquierdo y en el plano horizontal ya que otros estudios en otras latitudes han descrito que no hay diferencia al medirlo en ambos ojos(43) así como no influye tampoco la medición vertical vs horizontal en pacientes saludables(46). Se tomó como valor del DVNO el promedio de tres mediciones realizadas, hecho que ha sido consistente a través de otros estudios(46)(47)(44) y busca minimizar la variabilidad.

Los resultados indican un valor promedio normal de 4,65 mm en población adulta de Neiva, Huila, resultados muy similares a lo reportado por un estudio iraní(48) en el cual midieron por vía ecográfica el DVNO a pacientes que tenían indicada una punción lumbar encontrando un valor promedio de 4,6 mm en individuos con PIC normal esta última registrada al momento de realizar la punción lumbar. Valor similar también a un estudio en Malasia(11) donde correlacionaron PIC con DVNO y usaron un grupo control de 30 pacientes obteniendo un DVNO promedio de 4,57mm. Obtuvimos hallazgos similares al compararlos con un estudio coreano que determinó el promedio del DVNO en 4,71 mm a través de resonancia magnética en una muestra de 314 voluntarios saludables(49) destacando además que las estructuras anatómicas y sus límites están claramente definidas en este tipo de estudios. Valores similares fueron encontrados en un estudio en Bangladesh al sur de Asia(46) donde obtuvieron un valor promedio por ultrasonografía del DVNO de 4,41 en voluntarios sanos y valores un poco menos similares en un estudio reciente con población asiática en China en el cual reportan un valor promedio del DVNO con medición ecográfica de 4,09mm en un grupo de 40 voluntarios saludables(50). Por otra parte, los valores encontrados en nuestro estudio, contrastan con estudios como el de Wang, *et al*(44) en el cual el valor promedio del DVNO en población saludable fue 3,48mm y el de Goeres, *et al*(47) con diámetro promedio reportado de 3,68mm.

Las diferencias encontradas pueden responder a características propias de nuestra población, sin embargo, no es posible descartar que respondan a una metodología diferente usada en otros estudios, por ejemplo: ángulo de colocación o diferencias en la resolución de la sonda de ecografía.

Nuestros resultados, contrastan con un estudio previo en población canadiense(47) al no encontrar diferencia del promedio del DVNO en hombres y mujeres, y un estudio en población china en el cual además de diferencias con el género, encontraron relación positiva significativa con el IMC(44). Identificamos una asociación entre DVNO y la edad, siendo los pacientes más jóvenes los que generaron diferencia, hallazgo que no se pudo corroborar al analizar la población estudiada como un todo, no obstante la literatura describe que en población pediátrica por debajo de los 4 años, si hay diferencias en el DVNO respecto a la edad(39). Ya que en nuestro estudio el IMC máximo fue de 37,9 kg / m², no se puede excluir una posible correlación con valores de IMC más altos. La asociación entre ser paciente vs no paciente y un mayor DVNO podría explicarse por el hecho de que la población del grupo de pacientes tuvo en mayor porcentaje alguna comorbilidad, dentro de estas el sobrepeso que aportaba un número importante teniendo además cierta tendencia al aumento del DVNO entre los pacientes más pesados.

Factores como variación en el ángulo o posicionamiento de la sonda o diferencias en la resolución pueden llevar a resultados diferentes en el valor del DVNO a los obtenidos en otros estudios, no obstante, se sabe que la precisión de la medición aumenta con el aumento de la potencia de la sonda de ultrasonido utilizada, este estudio utilizó una sonda relativamente potente de 7 - 15 MHz que puede haber sido parcialmente responsable del rango normal encontrado.

La variabilidad intraobservador, si bien tuvo diferencia en el investigador 2 al aplicarle la clasificación de confiabilidad obtuvo una calificación de excelente. En cuanto a la variabilidad interobservador esta tuvo un nivel de confiabilidad suficiente. El promedio de diferencia del DVNO entre investigadores, supera las variaciones reportadas en la literatura que oscilan de 0,1 – 0,3 mm(51)(52) consideramos que esto se puede explicar por el hecho de que al ser el DVNO medido en milímetros, cualquier desplazamiento de los *calipers* o del punto ideal de medición del DVNO puede influir en el resultado de la lectura y advierte que es indispensable estandarizar la técnica para disminuir la variabilidad.

Este estudio tiene algunas limitaciones; primero, las medidas fueron tomadas por dos observadores que si bien estaban familiarizados con la medición del DVNO e hicieron un entrenamiento teórico-práctico previo a la recolección de la muestra, fueron dos observadores no expertos en ultrasonografía; segundo, el hecho de que se presume que la presión intracraneal de los sujetos analizados fue normal al tomar datos de la historia clínica de pacientes “saludables”; tercero, no se incluyó una medida directa de la presión intracraneana por lo que no se sabe en qué medida un DVNO por encima de los parámetros de normalidad predice aumento de la PIC.

Nuestros hallazgos sugieren un rango amplio del DVNO en población saludable lo que puede comprometer su utilidad clínica pues en aquellos pacientes que tengan diámetros bajos en la VNO, un aumento en la PIC podría generar un valor del DVNO dentro de la “Normalidad”. Así mismo ya que se ha reportado valores promedios diferentes en otras poblaciones, se recomienda prudencia antes de generalizar un valor de “normalidad” para otras poblaciones lo que puede limitar la utilidad de este método diagnóstico y a su vez alienta al estudio de una muestra multicéntrica y multicultural para futuros estudios.

Debido a que el DVNO no tiene correlación lineal significativa con ninguna de las variables, no fue posible generar una fórmula que predijera el DVNO a partir de variables antropométricas en un grado satisfactorio, la única variable que generó algo de correlación fue el peso, pero solo explica el 5% de variabilidad, valor muy bajo para generar una fórmula que prediga DVNO (nivel de incertidumbre del 95%).

Los datos del DVNO obtenidos por cada investigador estaba oculto entre los observadores sin embargo la medición hecha por cada uno de los investigadores no fue cegada a los resultados del mismo lo que puede haber reducido la variabilidad en estas mediciones por sesgo del observador.

Los resultados de nuestro estudio podrían servir como base para otras investigaciones sobre la evaluación no invasiva de la presión intracraneana.

16 CONCLUSIONES

Este estudio aporta datos de la normalidad del DVNO en población saludable voluntaria, el rango determinado y la falta de relación con la edad, género, talla e IMC es similar a lo encontrado en otros estudios.

Si bien la variabilidad interobservador fue amplia, tuvo una confiabilidad suficiente y podemos decir que la ecografía en modo B es un método apropiado para evaluar el DVNO.

Los hallazgos de diferencias en el DVNO son sutiles, pero no despreciables con otras poblaciones y sugieren la necesidad de rangos de referencia distintos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cremer OL. Original Article Does ICP monitoring make a difference in neurocritical care ? 2008;25(Suppl 42):87–93.
2. Byass P, Courten M De, Graham WJ, Laflamme L, Mccaw-binns A, Sankoh OA, et al. Reflections on the Global Burden of Disease 2010 Estimates. 2013;10(7).
3. Treggiari MM, Schutz, Nicolas. Yanez ND, Romand J. Role of intracranial pressure values and patterns in predicting outcome in traumatic brain injury : a systematic review. 2007;104–12.
4. Stocchetti N, Maas AIR. Traumatic Intracranial Hypertension. N Engl J Med. 2014;2121–30.
5. Medicine P, Brain SF, Francisco S. Relationship of “dose” of intracranial hypertension to outcome in severe traumatic brain injury. J Neurosurg. 2008;109(October):678–84.
6. Chesnut RM, Temkin N, Ph D, Carney N, Ph D, Dikmen S, et al. A trial of intracranial pressure monitoring in traumatic brain injury. N Engl J Med. 2012;367(26):2471–81.
7. HANSEN. H-C, HELMKE. AK. Validation of the optic nerve sheath response to changing cerebrospinal fluid pressure: ultrasound findings during intrathecal infusion tests. J Neurosurg. 1997;87:34–40.
8. Komut E, Kozac N, Sönmez BM, Fevzi Y, Komut S, Nilgün Z, et al. Bedside sonographic measurement of optic nerve sheath diameter as a predictor of intracranial pressure in ED. Am J Emerg Med. 2016;
9. Bar M, Hradı P, Herzig R, Chmelova J, Roubec M, Jeli M, et al. Distal enlargement of the optic nerve sheath in the hyperacute stage of intracerebral haemorrhage. :217–22.
10. Tayal VS, Norton HJ, Foster T, Saunders T. Emergency Department Sonographic Measurement of Optic Nerve Sheath Diameter to Detect Findings of Increased Intracranial Pressure in Adult Head Injury Patients. Ann Emerg Med. 2007;49:508–14.
11. Raffiz M, Mbchb MA, Abdullah JM. Optic Nerve Sheath Diameter Measurement; a Mean of Detecting Raised Intracranial Pressure in Adult Traumatic and Non-Traumatic Neurosurgical Patients. Am J Emerg Med [Internet]. 2016; Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajem.2016.09.044>

12. Rajajee V, Vanaman M, James J, Teresa F, Jacobs L. Optic Nerve Ultrasound for the Detection of Raised Intracranial Pressure. 2011;506–15.
13. Ochoa-pérez L, Cardozo-ocampo A. Revista Colombiana de Anestesiología Aplicaciones de la ultrasonografía en el sistema nervioso central para neuroanestesia y cuidado neurocrítico. 2015;3(4):314–20.
14. Kawoos U, Mccarron RM, Auker CR, Chavko M. Advances in Intracranial Pressure Monitoring and Its Significance in Managing Traumatic Brain Injury. Int J Mol Sci. 2015;c(December):28979–97.
15. Wilson MH. Monro-Kellie 2 . 0: The dynamic vascular and venous pathophysiological components of intracranial pressure. 2016;
16. Buishas J, Gould IG, Linninger AA. A computational model of cerebrospinal fluid production and reabsorption driven by Starling forces. 2014;481–97.
17. Guyton. A. - Hall. J. Unidad XI.pdf. In: / SAM-H, editor. Tratado de Fisiología Médica. 10 edición. 2005. p. 1280.
18. The ROF, Circulation C. Cerebral Blood Flow and its Pathophysiology in Hypertension. Am J Hypertens. 1989;2(6):486–92.
19. Herrera O, Infante J, Casares F, Morciego SC. Hipertensión endocraneal. 2002;34(12):1152–61.
20. Rodri G. ´ n intracraneal Hipertensio Intracranial hypertension. 2012;139(6):268–72.
21. Marín-caballos AJ, José J, Pedro E, Navarro N. Hipertensión intracraneal en el paciente neurocrítico [Internet]. Tratado de medicina intensiva. Elsevier España, S.L.U.; 2017. 503-508 p. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-84-9022-896-8.50085-4>
22. Zhang, Xuan. Joshua E. Medow. Iskandar BJ, Wang, Fa. Mehdi Shokoueinejad. Joyce Koueik. Webster JG. Invasive and noninvasive means of measuring intracranial pressure: a review. 2017;
23. Wiegand, C. Richards P. Review Measurement of intracranial pressure in children : a critical review of current methods. Dev Med Child Neurol. 2007;49:935–41.
24. Foundation BT. Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury 3rd Edition. J Neurotrauma. 2007;24(212).
25. Informatik M. Noninvasive assessment of intracranial pressure with venous

ophthalmodynamometry. 2011;115(August):371–4.

26. Khan MN, Shallwani H, Khan MU, Shamim MS. Noninvasive monitoring intracranial pressure – A review of available modalities. *Surg Neurol Int.* 2017;

27. Health C, Hospital SG, Kingdom U. Tympanic membrane displacement testing in regular assessment of intracranial pressure in eight children with shunted hydrocephalus. 1998;88:983–95.

28. Lashutka MK, Chandra A, Murray HN, Phillips GS, Hiestand BC. The Relationship of Intraocular Pressure to Intracranial Pressure. *Ann Emerg Med.* 2004;(May).

29. Kurtz S, Mezaad-koursh D, Waisbourd M. Poor correlation between intracranial pressure and intraocular pressure by hand-held tonometry. 2013;1083–7.

30. Li Z, Yang Y, Lu Y, Liu D, Xu E, Jia J, et al. Intraocular pressure vs intracranial pressure in disease conditions : A prospective cohort study (Beijing iCOP study). 2012;(May 2011):2010–3.

31. Chunyu T, Xiujun P, Li N, Qin L, Tian Z. The Correlation between Intracranial Pressure and Intraocular Pressure after Brain Surgery. *Int J Ophthalmol Eye Sci (IJOES)* ISSN 2332-290X. 2014;2:54–8.

32. Unit AN, Kingdom U. Predictive value of initial computerized tomography scan, intracranial pressure, and state of autoregulation in patients with traumatic brain injury. 2006;104:731–7.

33. Bekerman I, Sigal T, Kimiagar I, Vaiman M. Initial evaluation of the intracranial pressure in cases of traumatic brain injury without hemorrhage. *J Neurol Sci [Internet]*. 2016;368:285–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jns.2016.07.023>

34. Patricia B Raskin, M.D., Noam Alperin, Ph.D., Anusha Sivaramakrishnan, B.S., Sushma Surapaneni, Terry Lichtor, M.d. P. Noninvasive intracranial compliance and pressure based on dynamic magnetic resonance imaging of blood flow and cerebrospinal fluid flow : review of principles , implementation , and other noninvasive approaches. 2003;14(4):1–8.

35. Savel RH, Eisen LA. Non-invasive Methods of Estimating Intracranial Pressure. 2011;599–608.

36. Dinsmore M, Han JS, Fisher JA, Chan VWS, Venkatraghavan L. Effects of acute controlled changes in end-tidal carbon dioxide on the diameter of the optic nerve sheath: a transorbital ultrasonographic study in healthy volunteers. *Anesthesia.* 2017;1–6.

37. Esper R, Lfores O, Perez C, Cordova L, Cordova J, Cordova C, et al. Ultrasonographic evaluation of the diameter of the optic nerve sheath for medication of intracranial pressure: a case report. *Graceta Medica Mex* [Internet]. 2014;150(2):165–70. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24603997>
38. Killer HE, Jaggi GP, Flammer J, Miller NR, Huber AR. The optic nerve: A new window into cerebrospinal fluid composition? *Brain*. 2006;129(4):1027–30.
39. Helmke K, Hansen HC. Fundamentals of transorbital sonographic: Evaluation of optic nerve sheath expansion under intracranial hypertension. II. Patient study. *Pediatr Radiol*. 1996;26(10):706–10.
40. Presland A, Price J. Ocular anatomy and physiology relevant to anaesthesia. *Anaesth Intensive Care Med* [Internet]. 2014;15(1):20–5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mpaic.2016.10.009>
41. Asbury V y. Capítulo 1 : Anatomía y embriología del ojo. In: *Oftalmología general*, 18e. 2017. p. 2017.
42. Hayreh SS. The Sheath of the Optic Nerve. *Ophthalmological*. 1984;189:54–63.
43. Lochner P, Kaps M, Nedelmann M. Intra- and Interobserver Reliability of Sonographic Assessment. *J Neuroimaging*. 2010;22:42–5.
44. Wang L, Feng L, Yao Y, Deng F, Wang Y, Feng J, et al. Ultrasonographic Evaluation of Optic Nerve Sheath Diameter among Healthy Chinese Adults. *Ultrasound Med Biol* [Internet]. 2016;42(3):683–8. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301562915006869>
45. Robba C, Cardim D, Tajsic T, Pietersen J, Bulman M, Donnelly J, et al. Ultrasound non-invasive measurement of intracranial pressure in neurointensive care : A prospective observational study. *PLOS Med*. 2017;3:1–16.
46. Maude RR, Hossain A, Hassan MU, Osbourne S, Langan K, Sayeed A, et al. Transorbital Sonographic Evaluation of Normal Optic Nerve Sheath Diameter in Healthy Volunteers in Bangladesh. 2013;8(12):10–3.
47. Goeres P, Zeiler FA, Unger B, Karakitsos D, Mmeded LMG, Facs F. Ultrasound assessment of optic nerve sheath diameter (ONSD) int healthy volunteers. *J Crit Care* [Internet]. 2015; Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrc.2015.10.009>
48. Amini A, Kariman H, Arhami A, Reza H, Derakhshanfar H, Mansouri B, et al. Use of the sonographic diameter of optic nerve sheath to estimate intracranial pressure. *Am J Emerg Med* [Internet]. 2013;31(1):236–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajem.2012.06.025>

49. Hwan D. Measurement of the Optic Nerve Sheath Diameter with Magnetic Resonance Imaging and Its Association with Eyeball Diameter in Healthy Adults. *J Clin Neurol*. 2018;14(3):345–50.
50. Wang J, Li K, Li H, Ji C, Wu Z, Chen H, et al. Ultrasonographic optic nerve sheath diameter correlation with ICP and accuracy as a tool for noninvasive surrogate ICP measurement in patients with decompressive craniotomy. *J Neurosurg*. 2019;
51. Dubourg J. Ultrasonography of optic nerve sheath diameter for detection of raised intracranial pressure : a systematic review and meta-analysis. 2011;1059–68.
52. Lochner P, Coppo L, Cantello R, Brigo F. Intra- and interobserver reliability of transorbital sonographic assessment of the optic nerve sheath diameter and optic nerve diameter in healthy adults. *J Ultrasound [Internet]*. 2016;41–5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s40477-014-0144-z>

ANEXOS

Anexo A. Consentimiento informado para participar en un estudio de investigación médica.

MEDICIÓN ECOGRÁFICA DEL DIÁMETRO DE LA VAINA DEL NERVIO ÓPTICO EN ADULTOS SALUDABLES DEL HUHMP, NEIVA 2018

Investigador Principal:

Dr. Daniel Rivera Tocancipa (Anestesiólogo – Epidemiólogo)
Dr. Danny Leandro Rodríguez Castro (Residente Anestesiología)
Hospital Universitario Hernando Moncaleano Perdomo

NOMBRE DEL PACIENTE:

A usted se le está invitando a participar en el estudio de investigación médica. Antes de decidir si participa o no, debe conocer y comprender cada uno de los siguientes apartados. Este proceso se conoce como consentimiento informado. Siéntase con absoluta libertad de preguntar sobre cualquier aspecto que le ayude a aclarar sus dudas al respecto.

Una vez haya comprendido el estudio y si usted desea participar, entonces se le pedirá que firme esta forma de consentimiento, de la cual se le entregará una copia firmada y fechada.

1. Objetivo del estudio: Determinar un valor de normalidad del diámetro de la vaina del nervio óptico
2. Justificación del estudio: la ultrasonografía ofrece una herramienta adicional en la valoración de pacientes con diferentes patologías intracraneanas las cuales pueden cursar con alta morbimortalidad en relación a hipertensión endocraneana
3. Beneficios del estudio: Tratamiento del paciente neuroquirúrgico.
4. Procedimientos del estudio: Ultrasonografía de la vaina del nervio óptico

5. Riesgos asociados al estudio: El haz de ultrasonidos dirigido a un tejido en particular favorece el movimiento de partículas que a su vez genera calor. Se desconoce si la funcionalidad de nervio óptico se vería alterada en algún grado.

6. Aclaraciones: Su decisión de participar en el estudio es completamente voluntaria. No habrá ninguna consecuencia desfavorable para usted, en caso de no aceptar la invitación. Si decide participar en el estudio puede retirarse en el momento que lo desee, aun cuando el investigador responsable no se lo solicite, pudiendo informar o no, las razones de su decisión, la cual será respetada en su integridad.

No tendrá que hacer gasto alguno durante el estudio.

No recibirá pago por su participación.

En el transcurso del estudio usted podrá solicitar información actualizada sobre el mismo, al investigador responsable.

La información obtenida en este estudio, utilizada para la identificación de cada paciente, será mantenida con estricta confidencialidad por el grupo de investigadores.

Si tiene alguna pregunta o si desea alguna aclaración por favor comunicarse con el Dr. Daniel Rivera Tocancipá (teléfono 317 400 73 54) o con el Dr. Danny Leandro Rodríguez Castro (teléfono 310 247 23 84).

SI NO HAY DUDAS, NI PREGUNTAS ACERCA DE SU PARTICIPACIÓN, PUEDE SI ASÍ LO CONSIDERA, FIRMAR EL CONSENTIMIENTO INFORMADO QUE FORMA PARTE DE ESTE DOCUMENTO.

CONSENTIMIENTO INFORMADO.

Yo, _____ C.C. N° _____
de _____, He leído y comprendido la información anterior y mis preguntas han sido respondidas de manera satisfactoria por el investigador que me entrevisto. He sido informado y entiendo que los datos obtenidos en el estudio pueden ser publicados o difundidos con fines científicos, por lo tanto, deseo participar voluntariamente en el proyecto de investigación.

Nombres y Apellidos del Participante

Firma del Participante.
C.C N°

Nombre del Testigo

Firma Del Testigo.
C.C N°

Esta parte debe ser completada por el investigador (o su responsable)

He _____ explicado _____ al _____ Sr. _____ (a) _____ el propósito de la investigación, le he explicado acerca de los riesgos y beneficios que implican su participación. He contestado a las preguntas en la medida de lo posible y he preguntado si tiene alguna duda. Acepto que he leído y conozco la normatividad correspondiente para realizar investigación con seres humanos y me apego a ella (Resolución 8430 de 1993) una vez concluida la sesión de preguntas y respuestas, se procedió a firmar el presente documento.

Firma del Investigador

Fecha

Anexo B. Desistimiento informado

Yo _____
identificado con cedula de ciudadanía número _____ de la ciudad
de _____ he participado voluntariamente en el estudio “MEDICIÓN
ECOGRÁFICA DEL DIÁMETRO DE LA VAINA DEL NERVIO ÓPTICO EN
ADULTOS SALUDABLES DEL HUHMP, NEIVA 2018” hasta hoy (día / mes / año),
donde haciendo uso de mi derecho de retirarme voluntariamente en cualquier fase
del desarrollo del estudio, sin que esto ocasione ningún tipo de represalia contra mí,
decido a partir de este momento no participar más en esta investigación, siendo
expuestos mis motivos de desistimiento a continuación:

Como constancia del desistimiento en la participación de este estudio firman a
continuación:

Firma de la persona que desiste de su
participación en el estudio
CC. _____

Fecha: (día / mes / año)

Firma de testigo (si aplica)
CC. _____

Fecha: (día / mes / año)

Firma de uno de los investigadores
CC. _____

Fecha: (día / mes / año)