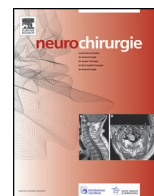




Disponible en ligne sur
SciVerse ScienceDirect
 www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France
EM|consulte
 www.em-consulte.com



Revue générale

Intérêt de l'échographie du diamètre de l'enveloppe du nerf optique pour la détection non invasive de l'hypertension intracrânienne

Interest of optic nerve sheath diameter ultrasonography in detecting non-invasively raised intracranial pressure

M. Messerer^a, M. Berhouma^{b,c}, R. Messerer^c, J. Dubourg^{b,d,*}

^a Service de neurochirurgie, département des neurosciences cliniques, centre hospitalier universitaire Vaudois, Lausanne, Suisse

^b UFR de médecine, université Claude-Bernard Lyon 1, Lyon, France

^c Service de neurochirurgie A, hôpital Pierre Wertheimer, hospices civils de Lyon, 69500 Bron, France

^d Centre d'investigation clinique, université Claude-Bernard Lyon 1, hospices civils de Lyon, groupement hospitalier Lyon-Est, 69500 Bron, France

INFO ARTICLE

Historique de l'article :

Reçu le 12 août 2012

Accepté le 2 février 2013

Keywords:

Intracranial hypertension
 Intracranial pressure
 Optic nerve sheath
 Ultrasonography
 Head injury
 Monitoring

Mots clés :

Hypertension intracrânienne
 Pression intracrânienne
 Enveloppe du nerf optique
 Échographie
 Traumatisme crânien
 Monitoring

ABSTRACT

Intracranial hypertension is an emergency suspected from clinical symptoms, imaging data and ophthalmologic signs. Intracranial hypertension is confirmed by invasive intracranial monitoring, which is the gold standard technique to measure intracranial pressure (ICP). Because of complications, hemorrhage or infection, non-invasive methods have been developed such as neuroimaging, transcranial Doppler sonography and optic nerve sheath diameter (ONSD) ultrasonography. We have reviewed ONSD technique that detects intracranial hypertension related volume variations of subarachnoid space along the retrobulbar segment of the optic nerve. Technique, indications and prospects are discussed.

© 2013 Elsevier Masson SAS. Open access under [CC BY-NC-ND license](#).

RÉSUMÉ

L'hypertension intracrânienne (HTIC) est une urgence suspectée sur des critères cliniques, radiologiques et ophtalmologiques. L'HTIC est confirmée par le monitoring invasif intracrânien qui est la méthode *gold standard* pour mesurer la pression intracrânienne (PIC). Du fait de complications hémorragiques et infectieuses, des méthodes non invasives de mesure de la PIC ont été développées telles que la neuro-imagerie, le doppler transcrânien et l'échographie du diamètre de l'enveloppe du nerf optique (DENO). Nous décrivons la technique de l'échographie du DENO qui détecte une HTIC par la distension de l'espace sous-arachnoïdien au niveau du segment rétrobulbaire du nerf optique. La technique, les indications et les perspectives sont discutées.

© 2012 Elsevier Masson SAS. Cet article est publié en Open Access sous licence [CC BY-NC-ND](#).

1. Introduction

Le syndrome d'hypertension intracrânienne (HTIC) est une urgence diagnostique et thérapeutique. Il est défini par une pression intracrânienne supérieure ou égale à 20 mmHg. Le test diagnostique de référence pour la détection de l'HTIC demeure

la mesure invasive de la pression intracrânienne (PIC) au moyen d'un capteur intraventriculaire (*gold standard*) ou intraparenchymateux. Cependant, ce monitoring continu est contre indiqué en cas de troubles de la coagulation et/ou thrombocytopenies et peut exposer les patients à des risques de complications infectieuses, hémorragiques et mécaniques (dysfonctionnement, obstruction). Les complications infectieuses surviennent dans 0 % à 12 % des cas pour les cathéters intraventriculaires [1] et dans 0 % à 15 % des cas pour les capteurs intraparenchymateux à fibre optique [1]. Le risque de colonisation bactérienne augmente significativement à partir de cinq jours de monitoring [1]. Les hématomes sont observés sur la trajectoire d'insertion du capteur de PIC dans 1,1 % des cas pour les

* Auteur correspondant. Lyon centre d'investigation clinique CIC 201, EPICIME, université de Lyon I, hôpital Louis Pradel, hospices civils de Lyon, 59, boulevard Pinel, 69500 Bron, France.

Adresse e-mail : julie.dubourg@gmx.fr (J. Dubourg).

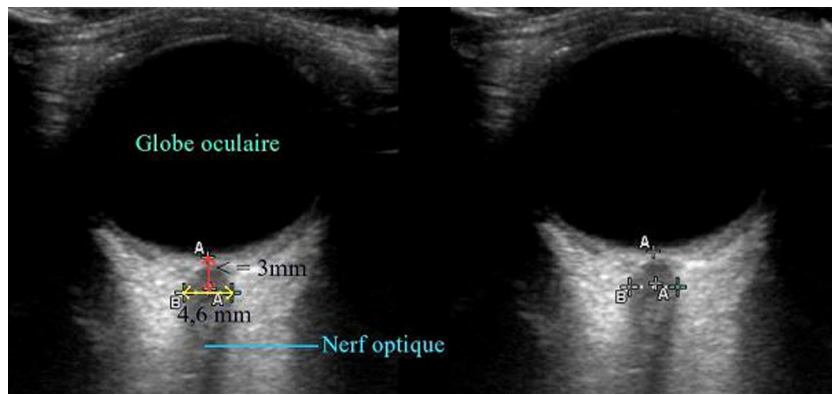


Fig. 1. Échographie du diamètre de l'enveloppe du nerf optique (DENO) en mode 2 dimensions chez un patient sans hypertension intracrânienne ; on visualise le globe oculaire et le nerf optique entouré de l'enveloppe du nerf optique ; avant d'effectuer la mesure il faut placer le premier curseur sur le pôle postérieur (A), placer le deuxième curseur 3 mm en arrière parallèlement à l'axe longitudinal du nerf optique (double flèche rouge) ; la mesure s'effectue perpendiculairement à l'axe du nerf optique en plaçant les curseurs (B) sur les limites externes de l'enveloppe du nerf optique 3 mm en arrière du pôle postérieur (double flèche jaune ; 4,6 mm).

ONSD 2-D ultrasonography in setting of normal intracranial pressure. The eyeball is visualized as well as the optic nerve surrounded by its sheath; prior to the measure of the ONSD, it is necessary first to place the cursor on the posterior pole (A), placing the second slider 3 mm posterior parallel to the longitudinal axis of the optic nerve (red double arrow), the measurement is made perpendicular to the axis of the optic nerve by placing the cursor (B) on the outer boundaries of the ONSD 3 mm behind the posterior pole (double yellow arrow; 4.6 mm).

cathéters intraventriculaires et dans 1,1 % à 5,8 % pour les capteurs intraparenchymateux à fibre optique. Ces hématomes nécessitent un drainage chirurgical dans 0,5 % et dans 2 % à 3,4 % des cas, respectivement [1]. Les complications mécaniques sont rencontrées dans 6,3 % à 40 % [1] des cas et sont d'autant plus rares que le personnel est expérimenté. Par ailleurs, cette mesure invasive de la PIC nécessite la disponibilité des neurochirurgiens [2,3].

Ces dernières décennies ont vu l'essor de techniques de mesure non invasive de la PIC telles que l'imagerie cérébrale qui possède de faibles performances diagnostiques [4,5], l'enregistrement des produits de distorsion des otoémissions acoustiques basé sur la relation existante entre la pression intracochléaire et la PIC [6], le doppler transcrânien basé sur l'étude de la vitesse des globules rouges dans les artères de gros calibres du polygone de Willis [7,8] et l'échographie du diamètre de l'enveloppe du nerf optique (DENO) [9].

L'échographie du DENO est une méthode non invasive, peu coûteuse, de détection de la PIC disponible dans tous les établissements de santé au lit du patient (et pourrait être disponible dans les véhicules d'urgences primaires). Elle est basée sur la mesure de la distension des espaces sous-arachnoïdiens qui entourent la portion rétrobulbaire du nerf optique.

Le but de cet article est de réaliser une revue de la littérature sur la valeur diagnostique de l'échographie du DENO afin d'expliquer ses fondements, de décrire ses performances diagnostiques et de familiariser les urgentistes, neurochirurgiens et neuroréanimateurs à cet outil non invasif.

2. Bases anatomopathologiques [10,11]

Le nerf optique est un prolongement de la substance blanche qui mesure environ 50 mm de longueur et 3 mm de largeur avec une portion intraorbitaire de 25 mm de longueur formant un « S ». Cette portion intraorbitaire est entourée de liquide cérébrospinal (LCS) et de dure-mère (appelée dans cette localisation « enveloppe du nerf optique »). L'espace sous-arachnoïdien entourant le nerf optique est connecté aux espaces sous-arachnoïdiens intracrâniens. Ainsi, toute augmentation de la pression intracrânienne est transmise à l'espace sous-arachnoïdien entourant le nerf optique entraînant alors une distension du DENO. Notons que certains états pathologiques peuvent bloquer ces conductions tels que les tumeurs exerçant un effet de masse sur le nerf optique, les tumeurs de la gaine du nerf optique, les

anomalies vasculaires à retentissement intraorbitaire (acquises ou constitutionnelles) et les traumatismes oculaires et orbitaires. De plus, on peut imaginer que chez les sujets âgés, la fibrose de la dure-mère pourrait induire une diminution de la distension de l'enveloppe du diamètre du nerf optique, mais cette hypothèse n'a été testée dans aucune étude à notre connaissance.

3. Mesure du diamètre de l'enveloppe du nerf optique

La position des patients est le décubitus dorsal [12]. Après l'application d'une fine couche de gel sur la paupière supérieure demeurant fermée, une sonde linéaire à haute fréquence ($\geq 7,5$ MHz) est placée sur le gel du côté temporal afin d'éviter toute pression sur le globe oculaire. La position de la sonde est ajustée afin de donner un angle permettant de visualiser l'entrée du nerf optique dans le globe oculaire. Le champ visuel est réduit à une profondeur de 4 cm (préréglé pour l'exploration des petits organes). Il n'y a pas d'utilisation du zoom.

Sur les images obtenues (Fig. 1), on visualise le globe oculaire (la structure prédominante). La partie postérieure du globe oculaire est hypoéchogène et entourée de graisse périorbitaire hyperéchogène. Le disque optique (ligne hyperéchogène) est visualisé au niveau du pôle postérieur du globe oculaire. En condition pathologique, il peut être possible de distinguer les fibres du nerf optique (hypoéchogènes) de l'espace sous-arachnoïdien (anéchoïque).

L'exploration est réalisée en mode 2 dimensions et le DENO est mesuré 3 mm en arrière du globe oculaire. Les curseurs électroniques doivent être placés sur les limites externes de l'enveloppe du nerf optique perpendiculairement à son axe [12–14]. Deux mesures sont réalisées pour chacun des deux yeux : une mesure dans le plan transversal (sonde horizontale) et une mesure dans le plan sagittal (sonde verticale). La mesure finale correspond à la moyenne de chacune de ces mesures. Ainsi, la valeur du DENO d'un patient = moyenne de (horizontal œil droit + vertical œil droit + horizontal œil gauche + vertical œil gauche). L'unité de mesure du DENO est le millimètre. Chez l'adulte sain, le DENO varie de 3,5 mm à 5 mm [15]. Chez l'enfant, les valeurs sont plus basses variant de 1,9 mm à 3,5 mm chez l'enfant de moins de quatre ans et de 2,2 mm à 4 mm chez les enfants entre quatre et 18 ans [13]. Aucune influence du sexe n'a été mise en évidence par les études.

Tableau 1

Caractéristiques des études ayant comparé la valeur de l'échographie du DENO à la méthode de référence (monitorage invasif de la PIC).
 Characteristics of studies comparing ONSD ultrasonography and ICP monitoring.

Auteur	Année	n	Pathologies (n)	Méthode de référence (n)	Seuil de positivité de l'échographie ^a (mm)	Se %	Sp %	Corrélation PIC/DENO
Cammarata et al. [19]	2011	11	Traumatismes crâniens	CIP	–	–	–	0,74 (<i>p</i> < 0,001)
Geeraerts et al. [20]	2007	31	Traumatismes crâniens	CIP	5,9	87	94	0,68 (<i>p</i> < 0,0001)
Geeraerts et al. [21]	2008	37	Traumatismes crâniens (22) Hémorragies sous-arachnoïdiennes (6) Hématomes intraparenchymateux (8) AVC (1)	CIP	5,86	95	79	0,71 (<i>p</i> < 0,0001)
Kimberly et al. [22]	2008	15	Traumatismes crâniens (4) Hémorragies intracérébrales (11)	CIV	5,0	88	93	0,59 (<i>p</i> < 0,0005)
Moretti and Pizzi [23]	2009	53	Hémorragies intracérébrales	CIV (32) CIP (21)	5,2	94	76	0,69 (<i>p</i> < 0,01)
Moretti et al. [24]	2009	63	Hémorragies intracérébrales (29) Hémorragies sous-arachnoïdiennes (34)	CIV (39) CIP (24)	5,2	93,1	73,9	0,7 (<i>p</i> < 0,0001)
Rajajee et al. [25]	2011	65	Hémorragies sous-arachnoïdiennes (30) Traumatismes crâniens (11) Hémorragies intracérébrales (11) Tumeurs cérébrales (5) Dysfonctionnement de valve (5) AVC ischémique (1) Thrombose du sinus veineux cérébral (1) Encéphalopathie hépatiques (1)	CIV (51) CIP (14)	4,8	96	94	0,73 (<i>p</i> < 0,0001)
Soldatos et al. [26]	2008	32	Traumatismes crâniens	CIP	5,7	74,1	100	0,68 (<i>p</i> = 0,002)

N : nombre de patients ; CIP : cathéter intraparenchymateux, CIV : cathéter intraventriculaire ; Se : sensibilité ; Sp : spécificité ; PIC : pression intracrânienne ; DENO : diamètre de l'enveloppe du nerf optique ; *p* : significativité statistique.

^a Seuil de positivité de l'échographie du DENO : valeur en mm du DENO à partir de laquelle l'échographie est considérée pathologique (= à partir de laquelle le patient est considéré comme étant en HTIC).

4. Performance de l'échographie du diamètre de l'enveloppe du nerf optique pour la détection de l'hypertension intracrânienne

De nombreuses études ont étudié les performances diagnostiques de l'échographie du DENO, notamment par rapport aux méthodes de neuro-imagerie [16,17] mais ces dernières possèdent de faibles performances diagnostiques [4,5] et ne peuvent donc pas permettre de juger les performances de l'échographie. Nous rapportons uniquement les études ayant évalué l'échographie du DENO par rapport à la méthode de référence, le monitoring de la PIC par cathéter intraventriculaire ou intraparenchymateux (Tableau 1) ; la sélection est faite selon la méthode proposée par Dubourg et al. [18]). Les principaux indices de performances diagnostiques (Tableau 2) de l'échographie du DENO pour la détection de l'HTIC ont été calculés. Les auteurs ont notamment recherché la valeur du DENO lorsque la PIC atteint ou dépasse 20 mmHg. On parle ainsi du seuil de positivité car il reflète une HTIC. Ce seuil varie selon les études de 4,8 mm à 5,9 mm (Tableau 1) et ne fait que détecter l'HTIC. En effet, bien que les études aient retrouvé un lien entre augmentation du DENO et augmentation de la PIC avec des coefficients de corrélation variant de 0,59 à 0,74 (Tableau 1), aucune

échelle de concordance entre les deux valeurs n'a pu être établie [19–26]. Hansen et al. [27] ont récemment étudié ex vivo les variations du DENO chez l'homme : le DENO augmente jusqu'à 140 % de sa valeur initiale après mise sous pression et diminue après levée

Tableau 2

Tableau de contingence permettant de calculer les indices de performances diagnostiques d'un test sous évaluation par rapport à une méthode de référence.

The 2 × 2 contingency table allowing the calculation of diagnostic accuracy indices.

		Méthode de référence	
		Positif	Négatif
Test évalué	Positif	Vrai positif VP	Faux positif FP
	Négatif	Faux négatif FN	Vrai négatif VN

Sensibilité = proportion de patients « malades » avec un « test sous évaluation » positif = $VP/(VP + FN)$; spécificité = proportion de patients « non malades » avec un « test sous évaluation » négatif = $VN/(VN + FP)$. Pour les variables quantitatives comme le DENO, il est nécessaire de déterminer un seuil (= seuil de positivité) à partir duquel le test diagnostique sera considéré positif afin de classer les patients dans le tableau de contingence. Ce seuil est déterminé en réalisant une courbe Receiver Operating Characteristics (ROC) qui calcule le seuil autorisant le meilleur compromis entre sensibilité et spécificité.

de cette pression sauf si elle était de plus de 45 mmHg. Ainsi, lors d'épisodes prolongés d'HTIC, le seuil de positivité du DENO peut être faussé.

Deux méta-analyses ont été publiées récemment [18,28] portant sur un total de 231 patients et montrant des résultats proches. Celle de Dubourg et al. [18] a montré une sensibilité moyenne de l'échographie du DENO pour la détection de l'HTIC de 90 % [IC_{95%} : 80%–95 %] et une spécificité de 85 % [IC_{95%} : 73%–93 %]. Compte tenu des 10% de manque de sensibilité, Dubourg et al. [18] déconseillent l'utilisation de cet outil par des personnels inexpérimentés qui pourraient être ainsi faussement rassurés induisant un retard dans la prise en charge, voire une absence totale de prise en charge adaptée.

Les deux méta-analyses publiées n'ont pu déterminer un seuil de positivité [18,28]. Ainsi, pour mieux cerner les bénéfices et limites de la technique de l'échographie du DENO, un groupe de travail s'est constitué le Optic Nerve Sheath Diameter Research Group autour des acteurs des 8 études déjà réalisées [19–26]. L'objectif est une méta-analyse sur l'ensemble des données sources individuelles soit 307 patients, évaluant les performances diagnostiques de la technique et déterminant un seuil de positivité plus précis (http://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO/display_record.asp?ID=CRD42012003072).

La plupart des études portent sur des populations d'adultes traumatisés crâniens ou présentant une hémorragie intracérébrale. Les résultats présentés ne peuvent donc s'appliquer actuellement qu'à cette population. Notons également que pour les traumatisés crâniens graves, les recommandations internationales statuent que les patients avec un score de Glasgow inférieur ou égal à 8 doivent bénéficier d'un monitoring continu de la PIC par capteur intraparenchymateux ou intraventriculaire pour optimiser leur prise en charge [29]. Ainsi, il est clair que l'échographie du DENO n'a pas pour but de remplacer le monitoring continu de la PIC. Cependant, les auteurs recommandent le développement et l'utilisation de cet outil dans les centres spécialisés, combiné aux paramètres clinico-radiologiques, où il permettrait de prendre en charge les patients plus précocement et aider dans les situations intermédiaires avec des GCS supérieurs à 8.

Chez l'enfant, la taille du DENO est inférieure à celle atteinte à l'âge adulte [13,14] (cf ci-dessus pour les valeurs). Certains auteurs ont investigué l'utilité de l'échographie dans diverses conditions pathologiques : hydrocéphalie [30], désordres métaboliques [31], lésions intracrâniennes (traumatiques ou autres) [16,13,17,32] et craniosténoses [33,34]. Cependant, la plupart de ces études ne comparaient pas l'échographie à la mesure invasive de la PIC. Le et al. [17] ont réalisé une étude à partir d'une série consécutive de 64 patients âgés de 0 à 18 ans. Dans cette étude, l'échographie était comparée soit au *gold standard* (monitorage invasif de la PIC), soit à la tomodensitométrie cérébrale. Le sous-groupe de patients ayant bénéficié du capteur de PIC n'était pas identifiable. Ces auteurs ont globalement estimé la sensibilité de l'échographie à 83 % [IC_{95%} : 60%–94 %] et la spécificité à 38 % [IC_{95%} : 23%–54 %], par comparaison soit aux résultats tomodensitométriques soit au monitoring invasif de PIC. Le seuil de positivité de l'échographie indiquant la présence d'une HTIC était estimée à 4 mm pour les enfants de moins de un an et 4,5 mm pour les adultes.

Aucune étude n'a reporté de complications liées à l'utilisation de l'échographie du DENO. Cependant, les blessures par chaleur demeurent une complication théorique possible [35]. Il est donc plus prudent de se limiter à la plus basse émission d'ultrasons possible et de ne pas prolonger le temps de l'examen.

Du point de vue de sa reproductibilité, l'échographie du DENO semble être une technique reproductible, lorsque le protocole est suivi et qu'elle est réalisée par des médecins expérimentés. Les études de la littérature indiquent une médiane intraobservateurs de 0,2 mm [26] et une médiane interobservateurs variant de 0,2 mm

à 0,3 mm [20,24,26]. Bauerle et al. [36] ont reporté un coefficient de corrélation de Pearson supérieur à 0,8 pour chaque œil entre deux investigateurs. Cependant, certains artefacts, dus au cristallin et au disque optique pourraient affecter les mesures [37].

La courbe d'apprentissage de cette technique n'est pas un obstacle à son utilisation. Tayal et al. [38] ont suggéré que les médecins ayant une expérience de l'utilisation d'appareils échographiques, pouvaient apprendre l'échographie du DENO relativement rapidement. Ils ont estimé que la courbe d'apprentissage pour les médecins expérimentés (utilisation fréquente d'appareils d'échographie) devrait inclure environ dix patients avec trois résultats erronés alors que les médecins novices devraient réaliser des échographies sur environ 25 patients pour acquérir la technique. Plus récemment, Potgieter et al. [39] ont montré que des médecins débutants (en ce qui concerne l'échographie du DENO) pouvaient apprendre la technique sur des volontaires sains au cours d'une seule séance d'apprentissage, supervisés par des médecins expérimentés.

5. Conclusions

L'échographie du DENO est une méthode non invasive présentant de bonnes performances diagnostiques pour la détection de l'HTIC chez les patients traumatisés crâniens ou ayant une hémorragie cérébrale. Les auteurs recommandent son utilisation et son développement par des médecins expérimentés. L'échographie du DENO, couplée à un contexte clinico-radiologique, est un outil très utile dans les situations intermédiaires (GCS > 8) ou dans les pathologies ne requérant pas de monitoring invasif.

Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

Références

- [1] Rickert K, Sinson G. Intracranial pressure monitoring. *Oper Tech Gen Surg* 2003;5:170–5.
- [2] Mackenzie EJ, Rivara FP, Jurkovich GJ, Nathens AB, Frey KP, Egleston BL, et al. A national evaluation of the effect of trauma-center care on mortality. *N Engl J Med* 2006;354:366–78.
- [3] Patel HC, Bouamra O, Woodford M, King AT, Yates DW, Lecky FE. Trends in head injury outcome from 1989 to 2003 and the effect of neurosurgical care: an observational study. *Lancet* 2005;366:1538–44.
- [4] Hiler M, Czosnyka M, Hutchinson P, Balestreri M, Smielewski P, Matta B, et al. Predictive value of initial computerized tomography scan, intracranial pressure, and state of autoregulation in patients with traumatic brain injury. *J Neurosurg* 2006;104:731–7.
- [5] Winkler F, Kastenbauer S, Yousry TA, Maerz U, Pfister HW. Discrepancies between brain CT imaging and severely raised intracranial pressure proven by ventriculostomy in adults with pneumococcal meningitis. *J Neurol* 2002;249:1292–7.
- [6] Sakka L, Thalamy A, Giraudet F, Hassoun T, Avan P, Chazal J. Electrophysiological monitoring of cochlear function as a non-invasive method to assess intracranial pressure variations. *Acta Neurochir Suppl* 2012;114:131–4.
- [7] Aaslid R, Markwalder TM, Nornes H. Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J Neurosurg* 1982;57:769–74.
- [8] Hassler W, Steinmetz H, Gawlowski J. Transcranial Doppler ultrasonography in raised intracranial pressure and in intracranial circulatory arrest. *J Neurosurg* 1988;68:745–51.
- [9] Hansen HC, Helmke K. Validation of the optic nerve sheath response to changing cerebrospinal fluid pressure: ultrasound findings during intrathecal infusion tests. *J Neurosurg* 1997;87:34–40.
- [10] Hayreh S. Structure of the Optic Nerve. *Ischemic Optic Neuropathies*. Berlin Heidelberg: Springer; 2011.
- [11] Hayreh SS. The sheath of the optic nerve. *Ophthalmologica* 1984;189:54–63.
- [12] Romagnuolo L, Tayal V, Tomaszewski C, Saunders T, Norton HJ. Optic nerve sheath diameter does not change with patient position. *Am J Emerg Med* 2005;23:686–8.
- [13] Helmke K, Hansen HC. Fundamentals of transorbital sonographic evaluation of optic nerve sheath expansion under intracranial hypertension II. Patient study. *Pediatr Radiol* 1996;26:706–10.

- [14] Helmke K, Hansen HC. Fundamentals of transorbital sonographic evaluation of optic nerve sheath expansion under intracranial hypertension I. Experimental study. *Pediatr Radiol* 1996;26:701–5.
- [15] Hansen HC, Helmke K. The subarachnoid space surrounding the optic nerves. An ultrasound study of the optic nerve sheath. *Surg Radiol Anat* 1996;18:323–8.
- [16] Beare NA, Kampondeni S, Glover SJ, Molyneux E, Taylor TE, Harding SP, et al. Detection of raised intracranial pressure by ultrasound measurement of optic nerve sheath diameter in African children. *Trop Med Int Health* 2008;13:1400–4.
- [17] Le A, Hoehn ME, Smith ME, Spentzas T, Schlappy D, Pershad J. Bedside sonographic measurement of optic nerve sheath diameter as a predictor of increased intracranial pressure in children. *Ann Emerg Med* 2009;53:785–91.
- [18] Dubourg J, Javouhey E, Geeraerts T, Messerer M, Kassai B. Ultrasonography of optic nerve sheath diameter for detection of raised intracranial pressure: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med* 2011;37:1059–68.
- [19] Cammarata G, Ristagno G, Cammarata A, Mannanici G, Denaro C, Gullo A. Ocular ultrasound to detect intracranial hypertension in trauma patients. *J Trauma* 2011;71:779–81.
- [20] Geeraerts T, Launey Y, Martin L, Pottecher J, Vigue B, Duranteau J, et al. Ultrasonography of the optic nerve sheath may be useful for detecting raised intracranial pressure after severe brain injury. *Intensive Care Med* 2007;33:1704–11.
- [21] Geeraerts T, Merceron S, Benhamou D, Vigue B, Duranteau J. Non-invasive assessment of intracranial pressure using ocular sonography in neurocritical care patients. *Intensive Care Med* 2008;34:2062–7.
- [22] Kimberly HH, Shah S, Marill K, Noble V. Correlation of optic nerve sheath diameter with direct measurement of intracranial pressure. *Acad Emerg Med* 2008;15:201–4.
- [23] Moretti R, Pizzi B. Optic nerve ultrasound for detection of intracranial hypertension in intracranial hemorrhage patients: confirmation of previous findings in a different patient population. *J Neurosurg Anesthesiol* 2009;21:16–20.
- [24] Moretti R, Pizzi B, Cassini F, Vivaldi N. Reliability of optic nerve ultrasound for the evaluation of patients with spontaneous intracranial hemorrhage. *Neurocrit Care* 2009;11:406–10.
- [25] Rajajee V, Vanaman M, Fletcher JJ, Jacobs TL. Optic nerve ultrasound for the detection of raised intracranial pressure. *Neurocrit Care* 2011;15:506–15.
- [26] Soldatos T, Karakitsos D, Chatzimichail K, Papathanasiou M, Gouliamos A, Karabinis A. Optic nerve sonography in the diagnostic evaluation of adult brain injury. *Crit Care* 2008;12:R67.
- [27] Hansen HC, Lagreze W, Krueger O, Helmke K. Dependence of the optic nerve sheath diameter on acutely applied subarachnoidal pressure – an experimental ultrasound study. *Acta Ophthalmol* 2011;89:e528–32.
- [28] Moretti R, Pizzi B. Ultrasonography of the optic nerve in neurocritically ill patients. *Acta Anaesthesiol Scand* 2011;55:644–52.
- [29] Bratton SL, Chestnut RM, Ghajar J, McConnell Hammond FF, Harris OA, Hartl R, et al. Guidelines for the management of severe traumatic brain injury VI. Indications for intracranial pressure monitoring. *J Neurotrauma* 2007;24(Suppl. 1):S37–44.
- [30] Newman WD, Hollman AS, Dutton GN, Carachi R. Measurement of optic nerve sheath diameter by ultrasound: a means of detecting acute raised intracranial pressure in hydrocephalus. *Br J Ophthalmol* 2002;86:1109–13.
- [31] Helmke K, Burdelski M, Hansen HC. Detection and monitoring of intracranial pressure dysregulation in liver failure by ultrasound. *Transplantation* 2000;70:392–5.
- [32] Malayeri AA, Bavarian S, Mehdizadeh M. Sonographic evaluation of optic nerve diameter in children with raised intracranial pressure. *J Ultrasound Med* 2005;24:143–7.
- [33] Driessen C, Bannink N, Lequin M, Van Veelen ML, Naus NC, Joosten KF, et al. Are ultrasonography measurements of optic nerve sheath diameter an alternative to fundoscopy in children with syndromic craniosynostosis? *J Neurosurg Pediatr* 2011;8:329–34.
- [34] Driessen C, Van Veelen ML, Lequin M, Joosten KF, Mathijssen IM. Nocturnal ultrasound measurements of optic nerve sheath diameter correlate with intracranial pressure in children with craniosynostosis. *Plast Reconstr Surg* 2012;130:448e–51e.
- [35] Barnett SB, Ter Haar GR, Ziskin MC, Rott HD, Duck FA, Maeda K. International recommendations and guidelines for the safe use of diagnostic ultrasound in medicine. *Ultrasound Med Biol* 2000;26:355–66.
- [36] Bauerle J, Lochner P, Kaps M, Nedelmann M. Intra- and interobserver reliability of sonographic assessment of the optic nerve sheath diameter in healthy adults. *J Neuroimaging* 2012;22:42–5.
- [37] Copetti R, Cattarossi L. Optic nerve ultrasound: artifacts and real images. *Intensive Care Med* 2009;35:1488–9 [author reply 1490–1].
- [38] Tayal VS, Neulander M, Norton HJ, Foster T, Saunders T, Blaivas M. 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.
- [39] Potgieter DW, Kippin A, Ngu F, Mckean C. Can accurate ultrasonographic measurement of the optic nerve sheath diameter (a non-invasive measure of intracranial pressure) be taught to novice operators in a single training session? *Anaesth Intensive Care* 2011;39:95–100.