



Keys to minimizing the risk of spinal cord trauma during a lumbar approach to thoracic epidural

Ban C. H. Tsui, MD

Received: 11 December 2013 / Accepted: 17 January 2014 / Published online: 30 January 2014
© Canadian Anesthesiologists' Society 2014

Thoracic epidurals provide effective analgesia for thoracic or upper abdominal procedures for both adult and pediatric patients; however, using a thoracic approach to place an epidural catheter is not without risk as it requires needle placement immediately posterior to the spinal cord.^{1–4} Consequently, some clinicians prefer to use a lumbar approach (caudal approach in pediatric cases), or if unsuccessful at a thoracic level, they may thread the epidural catheter cephalad from that point. This issue of the *Journal* features an interesting study by Gamble *et al.*⁵ in which the authors used a porcine model to address the safety of threading an epidural catheter via a lumbar approach. In their study, the authors show that styletted stimulating thoracic epidural catheters can be advanced in a predictable manner to target thoracic myotomes using a lumbar approach. However, damage to the spinal cord was observed in several animals. It is important to point out that, in humans, such perturbing findings are probably limited to high lumbar approaches (i.e., above L2–L3). This is partly because the human adult spinal cord, unlike the porcine model used in the Gamble *et al.* study, typically ends at approximately the L1–L2 level. Thus, if needle entry occurs either at or below the L2–L3 level, the risk of direct blunt trauma caused by the initial threading of the catheter from the needle tip is minimized. Nevertheless, the results of Gamble *et al.*'s study clearly show the risks involved when a catheter is advanced directly towards the spinal cord, as in thoracic and high lumbar approaches. Several key factors influence the risk and potential for

spinal cord damage during these approaches, including the angle of catheter insertion, catheter stiffness, and applied force. To address this issue, the relationship between these three factors must be considered.

Force must be applied to advance the catheter to its desired target myotome level. This *threading force* is the total applied force needed to insert the catheter through the Tuohy needle into the epidural space. Threading force itself involves two component forces that must be considered during catheter insertion: a *bending force*, needed to advance the catheter out of the needle, and a *parallel force*, needed to thread the catheter cranially past any obstacle within the epidural space (Fig. 1). Assuming there is minimal obstruction along the spinal cord, the initial total threading force is then directly related to the bending force. This is shown in Gamble *et al.*'s experiment where, in most animals, difficulty was experienced in advancing the catheter beyond the needle tip.⁵ The perpendicular angle of insertion used by the authors suggests the need for considerable bending force to advance the catheter out of the needle. Furthermore, the authors speculate that catheter stiffness and the presence of the stylet added to the difficulties in initial catheter advancement. Thus, the bending force required to advance the catheter out of the needle is influenced by two key factors: angulation of the needle and catheter stiffness (i.e., styletted or not).

To show this relationship, we used a simple *in vitro* setup to demonstrate the peak (kilogram) force generated when threading a styletted catheter at various needle angles (Figure). As shown, the peak force increases dramatically as the angulation of the needle approaches 0° (i.e., perpendicular) relative to the surface of the force gauge transducer. With an insertion perpendicular to the plane of the back (i.e., no angulation), these results suggest that the

B. C. H. Tsui, MD (✉)
Department of Anesthesiology and Pain Medicine, University
of Alberta, 8-120 Clinical Sciences Building, Edmonton,
AB T6G 2G3, Canada
e-mail: btsui@ualberta.ca

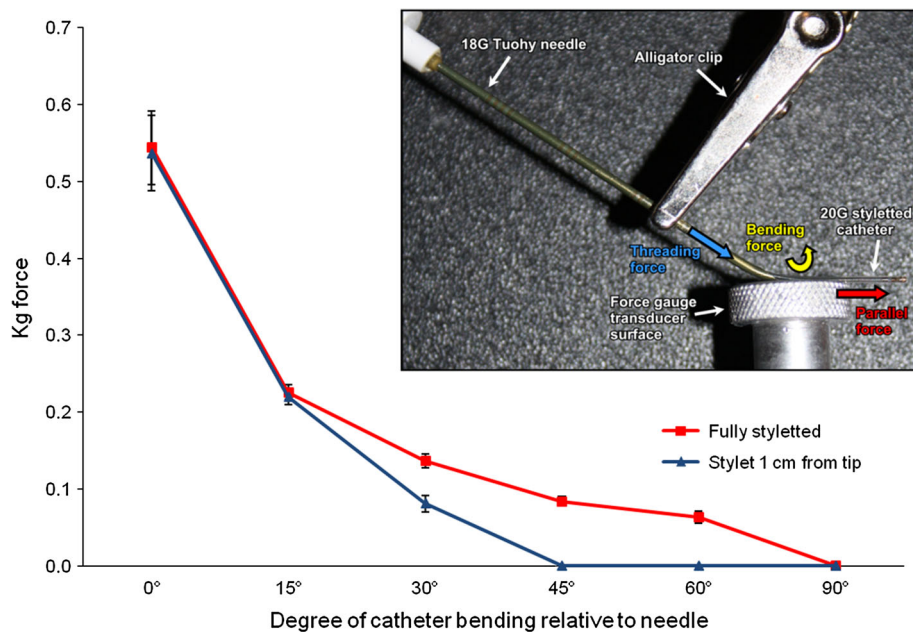


Figure Needle angulation influences the forces required to advance and thread a catheter. The chart shows the peak (kilogram) force applied by the catheter when the needle is positioned at different angles. The angles represent the degree of catheter bending relative to the needle angle (e.g., at 90° needle angle, the catheter angle is 0° [90 - 90 = 0]). Values are shown for the catheter fully styletted (blue triangles) and with the stylet moved 1 cm away from the catheter tip (red squares). Values at each angle represent the mean and standard deviation of trials using three individual catheters. *Inset*, experimental setup showing a 20G styletted catheter being advanced from an 18G Tuohy needle held at an angle by an alligator clip. Peak (kilogram) force of the catheter was measured with a force gauge (*bottom right*). The total threading force (blue arrow) is indicated as well as the component bending (yellow arrow) and parallel (red arrow) forces applied as the catheter is advanced from the needle.

Figure L'angulation de l'aiguille influence les forces nécessaires à insérer un cathéter. Le graphique montre la force maximale (kilogramme) appliquée par le cathéter lorsque l'aiguille est positionnée à différents angles. Les angles représentent le degré de flexion du cathéter par rapport à l'angle de l'aiguille (par ex., à un angle de l'aiguille à 90°, l'angle du cathéter est 0° [90 - 90 = 0]). Les valeurs pour le cathéter avec stylet complètement inséré (triangles bleus) et lorsque le stylet est retiré de 1 cm de l'extrémité du cathéter (carrés rouges) sont montrées. Les valeurs à chaque angle représentent la moyenne et l'écart type des études utilisant trois cathéters individuels. *Encart*: installation expérimentale montrant un cathéter avec stylet de 20 G inséré à partir d'une aiguille de Tuohy de 18 G tenue à un angle à l'aide d'une pince crocodile. La force maximale (kilogramme) du cathéter a été mesurée avec un indicateur de force (*en bas à droite*). La force d'insertion totale (flèche bleue) est indiquée, ainsi que les forces de flexion (flèche jaune) et parallèles (flèche rouge) la composant appliquées lorsque le cathéter est avancé depuis l'aiguille.

entire threading force of the catheter is concentrated on the dura and the contents of the intrathecal space, including the spinal cord. In contrast, as the needle angulation becomes less perpendicular relative to the path that the catheter must travel, the bending force is reduced and less total threading force is exerted on the spinal cord. These observations also explain why an epidural catheter can be threaded successfully from the thoracic space to the cervical space in awake adults without any discomfort by using a paramedian thoracic approach with a styletted catheter with steep needle angulations (> 30°).⁶⁻⁸ In this situation, the angle of insertion of the catheter is already directed towards the cranially located target, easing advancement from the needle tip and threading through the epidural space.

Our experiment also addresses the issue of catheter stiffness and how it influences bending force. By simply withdrawing the stylet 1 cm from the tip, as recommended

when using a styletted catheter,⁹ the peak force exerted on the force gauge transducer was substantially reduced (Figure). Withdrawing the stylet 1 cm from the catheter end allows the soft catheter tip to curve and adopt a J-shaped configuration which, in turn, facilitates threading the catheter out of the needle as well as maneuverability around obstacles encountered. In fact, the design of the catheter set used in Gamble *et al.*'s study (Pajunk Kit 521156-35C, Dyna Medical Corp, ON, Canada) permits adjustment of the stylet, thereby allowing the catheter to retain a soft blunted tip while maintaining stiffness for ease of advancement through the epidural space. This benefit diminishes as the insertion angle is reduced since a greater amount of force is applied to buckling, rather than bending, the catheter. Thus, a balance between sufficient catheter stiffness and optimal angulation of insertion must be carefully considered when different approaches are used to thread epidural catheters.

In clinical practice, the ease with which a catheter can be advanced in the epidural space relates in part to the initial angle of needle entry, which itself is related to vertebral anatomy. In 1940, Taylor published a description of a paramedian lumbosacral approach to subarachnoid needle insertion.¹⁰ Upon insertion, the needle is directed cephalomedially at the L5-S1 interspace to take advantage of the relatively large “target window” offered at this position. Decades later, Gunter *et al.*¹¹ described a modified Taylor approach to place thoracic epidural catheters. In this midline approach, the epidural needle is directed at a 30–45° angle relative to the plane of the back, and a stylet catheter is threaded to the target thoracic level. The success of this approach (15/16 catheters successfully placed) contrasts with the high failure rate experienced by Blanco *et al.*¹² who used an insertion point of L4-L5 and unstylet catheters. Although a soft epidural catheter lacking a stylet can be threaded easily into the epidural space with a lumbar approach, it is difficult to thread such a catheter in a controlled fashion. Moreover, most unstylet catheters are soft and tend to coil after the catheter tip extends ~2 cm beyond the needle tip, making threading these catheters from the lumbar to thoracic levels more difficult. Blanco *et al.* also suggested that the perpendicular angle of insertion they used may also have contributed to the higher incidence of failed catheter placements. This observation is supported by Blomberg¹³ whose results showed that placement of a lumbar epidural catheter was considerably more successful using a sharper angle of insertion. Thus, in clinical practice, catheter stiffness and angle of insertion *at a lumbar insertion level* appear to be the critical factors in successful placement of a thoracic catheter.

Numerous reports, particularly in the pediatric anesthesia literature, show successful caudal epidural insertion and advancement to thoracic and lumbar levels.^{9,14–25} In contrast, only a few case series and reports describing catheter threading from a lumbar insertion point have been published.^{11,25} There are multiple reasons for the popularity of the caudal approach among pediatric anesthesiologists. First, it is similar to the single-shot caudal approach, which is commonly employed in pediatric anesthesia practice. The familiarity of this approach combined with the relatively small and challenging size of pediatric patients makes it easier and preferable for many clinicians to use when compared with direct thoracic or lumbar approaches.^{14,26} Second, the use of the epidural stimulation test enables accurate targeting of catheter placement at a specific myotome level, as shown by an abundance of reports in the literature.^{9,20,23,25,27} Last, but not least, the ease of catheter advancement with the caudal approach, where the introducer needle is placed almost parallel to the dura and spinal cord, enables the user essentially to slide the catheter

along the dural surface with negligible bending force needed.

In summary, there may be a clinically important risk relationship between the level of approach and the ultimate destination of the catheter tip during epidural catheter placement. This relationship is influenced by a number of factors, including the angle of insertion and catheter stiffness (stylet or not). Both factors influence ease of threading the catheter and the amount of force required to advance the catheter, thereby impacting the potential for spinal cord trauma. Thus, it is not surprising that there is substantial risk of traumatic spinal cord injury when a fully stylet catheter is used for a high lumbar approach without any angulation, as in the study by Gamble *et al.* Regardless, their study serves to remind anesthesiologists of the importance to be vigilant in applying any excessive threading force during epidural catheter insertion and to consider ways to mitigate the very low but potential risk of spinal cord trauma during catheter insertion and threading.

Gestes clés pour minimiser le risque de traumatisme de la moelle épinière pendant la mise en place d'une péridurale thoracique par approche lombaire

Les péridurales thoraciques offrent une analgésie efficace pour les interventions thoraciques et abdominales supérieures aussi bien chez les patients adultes que les patients pédiatriques. Toutefois, le recours à une approche thoracique pour le positionnement d'un cathéter péridural n'est pas sans risque. En effet, cette approche nécessite que l'aiguille soit placée de façon immédiatement postérieure à la moelle épinière.^{1–4} Pour cette raison, certains cliniciens préfèrent l'approche lombaire (ou caudale chez les patients en pédiatrie) ou, si les tentatives au niveau thoracique échouent, cheminent le cathéter péridural vers la tête depuis ce point. Ce numéro du *Journal* présente une étude intéressante de Gamble *et coll.*,⁵ dans laquelle les auteurs ont utilisé un modèle porcine pour examiner la sécurité d'une technique d'insertion du cathéter péridural thoracique via une approche lombaire. Dans leur étude, les auteurs montrent que les cathéters périduraux thoraciques stimulants avec stylet peuvent être positionnés de façon prévisible afin de cibler les myotomes thoraciques via une approche lombaire. Ils rapportent toutefois des lésions à la moelle épinière chez plusieurs animaux. Il est important de souligner que, chez l'humain, des observations aussi

troublantes seraient probablement visibles exclusivement lors du recours à des approches lombaires hautes (c.-à-d. au-dessus de L2-L3). Ceci est dû en partie au fait que, chez l'être humain adulte, la moelle épinière, au contraire du modèle porcin de l'étude de Gamble *et coll.*, se termine vers le niveau L1-L2. Dès lors, si l'aiguille rentre au niveau L2-L3 ou en-dessous, le risque de traumatisme contondant direct provoqué par l'insertion initiale du cathéter depuis l'extrémité de l'aiguille est minimisé. Ceci étant dit, les résultats de l'étude de Gamble *et coll.* montrent clairement les risques encourus lorsqu'on fait avancer un cathéter directement vers la moelle épinière, comme c'est le cas lors d'approches thoraciques ou lombaires hautes. Plusieurs facteurs clés influencent le risque et le potentiel de lésion à la moelle épinière lors du recours à ces approches, notamment l'angle d'insertion du cathéter, la rigidité du cathéter, et la force utilisée. Afin d'aborder cette question, la relation entre ces trois facteurs doit être examinée.

Il faut faire usage de force pour pousser le cathéter jusqu'au niveau désiré du myotome ciblé. Cette *force d'insertion* est la force exercée totale nécessaire à insérer le cathéter via l'aiguille de Tuohy dans l'espace péri-dural. La force d'insertion est composée de deux forces dont il faut tenir compte pendant l'insertion du cathéter: une force de *flexion*, nécessaire pour faire sortir le cathéter de l'aiguille, et une force *parallèle*, nécessaire pour cheminer le cathéter en direction céphalique au-delà de tout obstacle au sein de l'espace péri-dural (figure 1). En présumant qu'il n'y a que peu d'obstruction le long de la moelle épinière, la force d'insertion totale initiale est alors directement liée à la force de flexion. On observe ce phénomène dans l'expérience de Gamble *et coll.*, dans laquelle, chez la plupart des animaux, on a éprouvé de la difficulté à faire passer le cathéter au-delà de l'extrémité de l'aiguille.⁵ L'angle perpendiculaire d'insertion utilisé par les auteurs indique le besoin d'une force de flexion importante pour faire sortir le cathéter de l'aiguille. En outre, les auteurs se demandent si la rigidité du cathéter et la présence du stylet ne se sont pas ajoutées aux difficultés rencontrées pour faire avancer le cathéter dès le début. Ainsi, la force de flexion nécessaire à faire sortir le cathéter de l'aiguille est influencée par deux facteurs clés: l'angulation de l'aiguille et la rigidité du cathéter (c.-à-d. avec stylet ou non).

Afin de démontrer cette relation, nous avons eu recours à une simple installation *in vitro* qui nous a permis de montrer la force maximale (kilogrammes) générée lorsqu'on insère un guide à divers angles d'aiguille (figure). Comme notre figure le montre, la force maximale augmente de façon spectaculaire lorsque l'angulation de l'aiguille se rapproche de 0° (c.-à-d. perpendiculaire) par rapport à la surface du capteur d'indicateur de la force. Lorsque l'insertion est faite perpendiculairement au plan du dos (c.-à-d. sans

angulation), les résultats suggèrent que la force d'insertion totale du cathéter se concentre sur la dure-mère et les contenus de l'espace intrathécal, y compris la moelle épinière. À l'opposé, au fur et à mesure que l'angulation de l'aiguille devient moins perpendiculaire par rapport au chemin que le cathéter doit accomplir, la force de flexion diminue et une force d'insertion totale moindre est exercée sur la moelle épinière. Ces observations expliquent également pourquoi un cathéter péri-dural peut être inséré avec succès de l'espace thoracique à l'espace cervical chez les patients adultes éveillés et ce, sans inconfort; en effet, cette technique se fait via une approche thoracique paramédiane et à l'aide un cathéter avec stylet à de fortes angulations de l'aiguille (> 30°).⁶⁻⁸ Dans cette situation, l'angle d'insertion du cathéter est déjà dirigé vers la cible située en direction du crâne, ce qui facilite l'avancée depuis l'extrémité de l'aiguille et l'insertion à travers l'espace péri-dural.

Notre expérience aborde également la question de la rigidité du cathéter et la façon dont cette donnée influence la force de flexion. En retirant simplement le stylet de 1 cm de l'extrémité, comme cela est recommandé lors de l'utilisation d'un cathéter avec stylet,⁹ la force maximale exercée sur le capteur d'indicateur de la force était considérablement réduite (figure). Le fait de retirer le stylet de 1 cm de l'extrémité du cathéter permet à la pointe souple du cathéter de se courber et d'adopter une configuration en J, ce qui facilite alors la montée du cathéter hors de l'aiguille et augmente sa maniabilité autour des obstacles rencontrés. En fait, le stylet de cathéter utilisé dans l'étude de Gamble *et coll.* (Pajunk Kit 521156-35C, Dyna Medical Corp, ON, Canada) permet d'ajuster le stylet, ce qui permet à son tour au cathéter de conserver son extrémité souple et émoussée tout en maintenant sa rigidité, facilitant ainsi son insertion à travers l'espace péri-dural. Cet avantage diminue au fur et à mesure de la réduction de l'angle d'insertion, étant donné qu'une force plus importante est exercée pour faire passer, plutôt que plier, le cathéter. Par conséquent, il convient de trouver l'équilibre fragile entre rigidité suffisante du cathéter et angulation optimale pour son insertion lorsque différentes approches sont utilisées pour insérer des cathéters péri-duraux.

Dans la pratique clinique, la facilité avec laquelle un cathéter peut être inséré dans l'espace péri-dural est en partie liée à l'angle d'entrée de l'aiguille, qui est lui-même lié à l'anatomie vertébrale. En 1940, Taylor publiait la description d'une approche lombo-sacrée paramédiane pour l'insertion d'une aiguille sous-arachnoïdienne.¹⁰ Lors de l'insertion, l'aiguille est placée en direction céphalo-médiane à l'espace intervertébral L5-S1 afin de tirer profit de la « fenêtre cible » relativement grande offerte dans cette position. Des décennies plus tard,

Gunter *et coll.*¹¹ décrivaient une approche de Taylor modifiée afin de positionner les cathéters périduraux thoraciques. Dans cette approche de ligne médiane, l'aiguille péridurale est dirigée à un angle de 30-45° par rapport au plan du dos, et un guide est inséré au niveau thoracique ciblé. Le succès de cette approche (15/16 cathéters bien placés) est en contraste avec le taux d'échec élevé rencontré par Blanco *et coll.*,¹² qui ont utilisé un point d'insertion à L4-L5 et des cathéters sans stylet. Bien qu'un cathéter péridural souple sans stylet puisse être facilement inséré dans l'espace péridural à l'aide d'une approche lombaire, il est difficile de contrôler l'insertion d'un tel cathéter. En outre, la plupart des cathéters sans stylet sont souples et ont tendance à s'enrouler une fois l'extrémité du cathéter sortie ~ 2 cm au-delà de l'extrémité de l'aiguille, ce qui rend plus difficile l'insertion de ces cathéters depuis les niveaux lombaire et thoracique. Blanco *et coll.* ont également suggéré que l'angle perpendiculaire d'insertion qu'ils ont utilisé ait aussi contribué au nombre plus élevé d'échecs de positionnements du cathéter. Cette observation est étayée par l'étude de Blomberg,¹³ dont les résultats ont montré que le positionnement d'un cathéter péridural lombaire réussissait beaucoup plus souvent lorsque l'angle d'insertion était plus aigu. Par conséquent, dans la pratique clinique, la rigidité du cathéter et l'angle d'insertion, à un *niveau d'insertion lombaire*, semblent être les facteurs cruciaux à un positionnement réussi du cathéter thoracique.

De nombreux comptes rendus, particulièrement dans la littérature d'anesthésie pédiatrique, rapportent la réussite de techniques d'insertion péridurale caudales et l'insertion du cathéter jusqu'aux niveaux thoracique et lombaire.^{9,14-25} En revanche, seules quelques séries de cas décrivant l'insertion d'un cathéter depuis un point d'insertion lombaire ont été publiées.^{11,25} Les raisons pour la popularité de l'approche caudale avec les anesthésiologistes pédiatriques sont multiples. En premier lieu, cette approche est semblable à l'approche caudale pour injection unique, fréquemment utilisée dans la pratique de l'anesthésie pédiatrique. La familiarité de cette approche, combinée à la taille relativement petite et dès lors plus complexe des patients pédiatriques, la rend plus facile et préférable pour de nombreux cliniciens, comparativement à des approches thoraciques ou lombaires directes.^{14,26} Deuxièmement, l'utilisation d'un test de stimulation péridurale permet de cibler avec précision le positionnement du cathéter à un niveau de myotome spécifique, comme le démontrent une multitude de comptes rendus dans la littérature.^{9,20,23,25,27} Enfin, et surtout, la facilité d'insertion du cathéter par approche caudale, par laquelle l'aiguille d'insertion est placée presque parallèlement à la dure-mère et à la moelle épinière, permet dans le fond à l'utilisateur de glisser le cathéter le

long de la surface durale en exerçant une force de flexion négligeable.

En résumé, il pourrait y avoir une relation de risque importante d'un point de vue clinique entre le niveau de l'approche et la destination finale de l'extrémité du cathéter pendant le positionnement d'un cathéter péridural. Cette relation est influencée par plusieurs facteurs, notamment l'angle d'insertion et la rigidité du cathéter (avec stylet ou sans). Ces deux facteurs influencent la facilité d'insertion du cathéter et la quantité de force nécessaire pour l'insérer, ayant ainsi un impact sur la probabilité de traumatisme à la moelle épinière. Il n'est par conséquent pas surprenant qu'il y ait un risque considérable de lésion traumatique à la moelle épinière lorsqu'un cathéter avec stylet complètement inséré est utilisé pour une approche lombaire haute sans angulation quelconque, comme c'est le cas dans l'étude de Gamble *et coll.* Indépendamment de cette observation, leur étude rappelle aux anesthésiologistes l'importance d'être vigilants lorsqu'ils exercent toute force d'insertion excessive lors de l'insertion d'un cathéter péridural et d'envisager des façons de mitiger le risque, certes bas mais néanmoins bien réel, de traumatisme à la moelle épinière pendant l'insertion d'un cathéter.

Conflict of interest/other associations Dr. Tsui has a licensing agreement with Pajunk for a stimulating catheter epidural kit.

Conflicts d'intérêt / autres associations Dr Tsui a un contrat de licence avec Pajunk pour un plateau péridural avec cathéter stimulant.

References

1. Kao MC, Tsai SK, Tsou MY, Lee HK, Guo WY, Hu JS. Paraplegia after delayed detection of inadvertent spinal cord injury during thoracic epidural catheterization in an anesthetized elderly patient. *Anesth Analg* 2004; 99: 580-3.
2. Mayall MF, Calder I. Spinal cord injury following an attempted thoracic epidural. *Anaesthesia* 1999; 54: 990-4.
3. Rainov NG, Heidecke V, Burkert WL. Spinal epidural hematoma. Report of a case and review of the literature. *Neurosurg Rev* 1995; 18: 53-60.
4. Yuen EC, Layzer RB, Weitz SR, Olney RK. Neurologic complications in lumbar epidural anesthesia and analgesia. *Neurology* 1995; 45: 1795-801.
5. Gamble JJ, Ambros B, Seguin P, Benmansour P, Simko E. Stimulating thoracic epidural placement via a lumbar approach causes significant spinal cord damage in a porcine model. *Can J Anesth* 2014; 61: this issue. DOI:10.1007/s12630-014-0117-x.
6. Prusinkiewicz C, Lang S, Tsui BC. Lateral cervical epidural catheter placement using nerve stimulation for continuous unilateral upper extremity analgesia following a failed continuous peripheral nerve block. *Acta Anaesthesiol Scand* 2005; 49: 579-82.
7. Tsui BC, Bateman K, Bouliane M, Finucane B. Cervical epidural analgesia via a thoracic approach using nerve stimulation guidance in an adult patient undergoing elbow surgery. *Reg Anesth Pain Med* 2004; 29: 355-60.

8. Tsui BC, Bury J, Bouliane M, Ganapathy S. Cervical epidural analgesia via a thoracic approach using nerve-stimulation guidance in adult patients undergoing total shoulder replacement surgery. *Acta Anaesthesiol Scand* 2007; 51: 255-60.
9. Tsui BC, Seal R, Koller J, Entwistle L, Haugen R, Kearney R. Thoracic epidural analgesia via the caudal approach in pediatric patients undergoing fundoplication using nerve stimulation guidance. *Anesth Analg* 2001; 93: 1152-5.
10. Taylor JA. Lumbosacral subarachnoid tap. *J Urol* 1940; 43: 561-4.
11. Gunter JB. Thoracic epidural anesthesia via the modified Taylor approach in infants. *Reg Anesth Pain Med* 2000; 25: 561-5.
12. Blanco D, Llamazares J, Rincon R, Ortiz M, Vidal F. Thoracic epidural anesthesia via the lumbar approach in infants and children. *Anesthesiology* 1996; 84: 1312-6.
13. Blomberg RG. Technical advantages of the paramedian approach for lumbar epidural puncture and catheter introduction. A study using epiduroscopy in autopsy subjects. *Anaesthesia* 1988; 43: 837-43.
14. Gunter JB, Eng C. Thoracic epidural anesthesia via the caudal approach in children. *Anesthesiology* 1992; 76: 935-8.
15. Peutrell JM, Hughes DG. Epidural anaesthesia through caudal catheters for inguinal herniotomies in awake ex-premature babies. *Anaesthesia* 1993; 48: 128-31.
16. Raghavendran S, Diwan R, Shah T, Vas L. Continuous caudal epidural analgesia for congenital lobar emphysema: a report of three cases. *Anesth Analg* 2001; 93: 348-50.
17. Rasch DK, Webster DE, Pollard TG, Gurkowski MA. Lumbar and thoracic epidural analgesia via the caudal approach for postoperative pain relief in infants and children. *Can J Anesth* 1990; 37: 359-62.
18. Schwartz D, King A. Caudally threaded thoracic epidural catheter as the sole anesthetic in a premature infant and ultrasound confirmation of the catheter tip. *Pediatr Anesth* 2009; 19: 808-10.
19. Schwartz DA, Patel D, Connelly NR. Caudally threaded epidural catheter following a single-shot caudal block in a high-risk neonate: a combined caudal-epidural technique. *J Clin Anesth* 2010; 22: 305-7.
20. Tamai H, Sawamura S, Kanamori Y, Takeda K, Chinzei M, Hanaoka K. Thoracic epidural catheter insertion using the caudal approach assisted with an electrical nerve stimulator in young children. *Reg Anesth Pain Med* 2004; 29: 92-5.
21. Tobias JD, Lowe S, O'Dell N, Pietsch JB, Neblett W 3rd. Continuous regional anaesthesia in infants. *Can J Anaesth* 1993; 40: 1065-8.
22. Tobias JD, Rasmussen GE, Holcomb GW 3rd, Brock JW 3rd, Morgan WM 3rd. Continuous caudal anaesthesia with chloroprocaine as an adjunct to general anaesthesia in neonates. *Can J Anesth* 1996; 43: 69-72.
23. Tsui BC, Seal R, Entwistle L. Thoracic epidural analgesia via the caudal approach using nerve stimulation in an infant with CATCH22. *Can J Anesth* 1999; 46: 1138-42.
24. Tsui BC, Seal R, Koller J. Thoracic epidural catheter placement via the caudal approach in infants by using electrocardiographic guidance. *Anesth Analg* 2002; 95: 326-30.
25. Tsui BC, Usher A, Kulkarni PR, Scott SL. Thoracic epidural catheters via the caudal and lumbar approaches using styletleted multiple port catheters in pediatric patients: a report of three cases. *Acta Anaesthesiol Scand* 2006; 50: 514-7.
26. Tobias JD, Lowe S, O'Dell N, Holcomb GW 3rd. Thoracic epidural anaesthesia in infants and children. *Can J Anesth* 1993; 40: 879-82.
27. Tsui BC, Wagner A, Cave D, Kearney R. Thoracic and lumbar epidural analgesia via the caudal approach using electrical stimulation guidance in pediatric patients: a review of 289 patients. *Anesthesiology* 2004; 100: 683-9.