LES DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE REPÉRAGE EN ALR : OPPOSABLES OU COMPLÉMENTAIRES ?

Denis Jochum (1), Hervé Bouaziz (2)
(1) Groupe Hospitalier Privé du Centre Alsace (GHPCA), Hôpital Albert Schweitzer, 201 Avenue d'Alsace, B.P. 20129, 68003 Colmar Cedex. Mail : jochumd@calix.net
(2) CHU, Hôpital Central, 29 Avenue du Maréchal de Lattre de Tassigny, 54035 Nancy. Mail : h.bouaziz@chu-nancy.fr

INTRODUCTION

L'amélioration de nos pratiques en ALR doit passer par l'évaluation des différentes techniques de repérage. Sont-elles opposables ou sont-elles complémentaires ? Opposer les techniques, c'est pouvoir définir qu'un moyen unique peut être privilégié et peut remplacer tous les autres [1]. Associer les moyens, c'est essayer de tirer tous les avantages de chaque technique pour atteindre un meilleur résultat [2].

Un éditorial de Denny et Harrop-Griffiths retrace l'historique des techniques de repérage des nerfs périphériques [3]. Parties du repérage du plexus brachial sous contrôle visuel direct, les techniques ont évolué depuis la sensation de passage des aiguilles au travers des différents tissus, en passant par la recherche de paresthésies pour finalement identifier la composante motrice des nerfs périphériques grâce à la neurostimulation. L'avènement de la neurostimulation a suscité des débats parfois musclés entre les défenseurs de la recherche de paresthésies et ceux de la neurostimulation. Après plusieurs années d'utilisation de la neurostimulation, il n'y a pas encore de consensus basé sur des preuves solides qui permettraient d'abandonner l'une ou l'autre de ces deux techniques. Pour autant, la neurostimulation s'est imposée comme étant le « gold standard » en Europe si l'on en juge par le nombre de publications consacrées aux blocs nerveux périphériques dont la réalisation repose sur cette technique de repérage. Les critères de choix d'un neurostimulateur ainsi que la procédure de neurostimulation ont d'ailleurs été parfaitement définis même si un doute subsistait quant à la valeur du seuil minimal de stimulation permettant à la fois l'efficacité et la sécurité [4].

Cette période de relative tranquillité a été ébranlée lorsque Urmey et Stanton ont montré qu'il n'y avait pas de relation directe entre l'obtention d'une pares-

thésie et celle d'une réponse motrice [5]. Ces résultats ont été confirmés plus tard par d'autres équipes, jetant un peu plus de doute sur la compréhension des techniques de repérage des nerfs périphériques [6, 7]. Puis vint l'échographie qui permit d'objectiver le contact nerf-aiguille en visualisant l'aiguille et les tissus environnants et de confirmer la faible corrélation entre le contact nerveux et la réponse motrice et/ou l'obtention d'une paresthésie [8]. A ces observations s'est ajoutée la conviction que les techniques dites à l'aveugle s'accompagnaient souvent d'injections intraneurales. Récemment, quelques équipes semblent prôner l'utilisation de l'échographie comme seule technique de repérage des nerfs périphériques pour en assurer le blocage.

En dépit des incertitudes qui pèsent sur la neurostimulation pour assurer l'anesthésie des nerfs périphériques, faut-il coupler cette dernière à l'échoguidage ou faut-il l'abandonner au profit de l'échoguidage comme seule technique de repérage des nerfs périphériques ? Il est nécessaire d'évaluer la pertinence de ces différents procédés à la lumière des connaissances actuelles.

1. LE REPÉRAGE ANATOMIQUE DE SURFACE

L' anatomie de surface, reste utile pour toutes les techniques. Ce repérage permet de mieux identifier la région concernée et d'imaginer la situation des éléments anatomiques recherchés. Seule l'échographie grâce à la visualisation en profondeur peut s'affranchir de cette étape préliminaire. La ponction est réalisée là où la visibilité est optimale. En cas de difficulté technique ou de mauvaise résolution de l'image, il peut être intéressant de s'aider du repérage de surface.

2. LES TECHNIQUES PÉRIVASCULAIRES

Les moyens de repérage peuvent s'appuyer sur un concept d'espace. Les techniques périvasculaires permettent le positionnement d'une aiguille proche d'un axe vasculaire. Elles ont été remises au goût du jour avec l'échographie car il est aisé de placer l'aiguille proche d'une artère et d'observer la diffusion de l'anesthésique local autour de ce vaisseau. C'est le cas en infraclaviculaire où les faisceaux, pas toujours bien visibles en échographie, sont situés au contact de l'artère. Sous contrôle de la vue, l'aiguille est placée au bord postérolatéral de l'artère pour assurer une diffusion adéquate de l'anesthésique local [9]. En cas de mauvaise vision ou de problème technique, la recherche du faisceau postérieur en neurostimulation devient une possibilité de secours [10]. Au niveau de la région axillaire, les techniques périvasculaires sont encore comparées. L'approche sous échographie augmente le taux de succès par rapport à un abord transartériel [11]. Néanmoins, il est bien établi que ce sont les injections multiples, au minimum trois, qui donnent le meilleur résultat [12]. L'abord supraclaviculaire peut être réalisé sous échographie avec le contrôle de l'artère subclavière reposant sur la première côte et sur le dôme pleural. Cependant, la vision sous échographie reste imparfaite dans plus de 20 % des cas [13]. Dans le triangle fémoral, l'artère fémorale est une aide précieuse, soit perçue par la palpation, soit visualisée par l'image échographique. Le nerf fémoral se situe latéralement à l'artère au niveau du pli inguinal. De plus, l'échographie permet de situer l'artère circonflexe latérale de la cuisse qui peut être en relation étroite avec les branches du nerf fémoral [14].

3. LA PERCEPTION DE RESSAUT

Les sensations de ressaut lors d'un franchissement d'une structure anatomique avec une aiguille à biseau court sont importantes à rechercher et sont non opposables avec les autres techniques de repérage. La sensation de franchissement d'un fascia n'est souvent qu'une première approche de l'espace périnerveux. En axillaire, la mono-injection est peu efficace pour l'obtention d'un bloc complet. La mise en évidence de septa est encore confirmée dans une étude anatomique récente montrant le cloisonnement des nerfs et les limites de la diffusion de l'anesthésique local [15]. En fémoral, la recherche d'un double ressaut (iliofascial) ou du ressaut du fascia iliaca peut être complémentaire de la neurostimulation et/ou de l'échographie. En interscalénique, le passage de la lame prévertébrale du fascia cervical est un élément important à rechercher pour une bonne position de l'aiguille. L'accentuation d'une réponse motrice après ce franchissement est un argument supplémentaire. Cependant, l'échographie apporte une fiabilité accrue par la visualisation de cette traversée aponévrotique et par la visualisation de l'espace de diffusion.

4. LA NEUROSTIMULATION

C'est toujours la méthode de référence et elle est complémentaire des autres. Le repérage de surface et de l'axe artériel, les sensations en profondeur avec une aiguille à biseau court sont autant d'éléments pour une technique efficace. L'obtention d'une paresthésie non intentionnelle doit être analysée au cours de la procédure. La neurostimulation est également complémentaire de l'échographie. Dans ce cas, elle nécessite un changement dans la procédure de neurostimulation. Une première possibilité est de fixer un seuil d'intensité dit de sécurité, inférieur à 1 mA, qui est gardé jusqu'à l'approche finale. Une deuxième possibilité est d'utiliser le neurostimulateur après positionnement de l'aiguille au contact du nerf, pour l'identification certaine de la structure nerveuse et la recherche du seuil d'intensité de stimulation. A l'évidence, un tendon qui peut être échographiquement proche d'un nerf ne répondra pas en neurostimulation. Il est d'ailleurs intéressant d'observer que dans la grande majorité des publications utilisant l'échoguidage seul, l'aiguille utilisée est une aiguille de neurostimulation. En cas de doute, il est alors simple de la connecter à un neurostimulateur. D'autre part, les blocs de rattrapage après échoguidage sont souvent pratiqués en neurostimulation ce qui traduit bien la confiance qu'ont les praticiens vis-à-vis de cette technique de recherche des nerfs périphériques.

La neurostimulation associée à l'échoguidage trouve également un intérêt dans les variations anatomiques par une reconnaissance exacte des structures. Les exemples sont nombreux où la neurostimulation et l'échographie utilisées d'une manière conjointe confortent la procédure. C'est le cas de toutes les situations à mauvaise visibilité. L'échoguidage est une technique récente, qui ne bénéficie pas aujourd'hui du recul dont bénéficie la neurostimulation.

Cependant, l'échographie va permettre de faire évoluer la neurostimulation. Beaucoup de questions restent sans réponse. La recherche d'une réponse précise en neurostimulation lors du positionnement de l'aiguille sous échographie a-t-elle un intérêt ? Ce pourrait être le cas de l'inversion du pied correspond à une position d'aiguille sur le contingent tibial. Existe-t-il une corrélation entre la position de l'aiguille et l'intensité minimale de stimulation (IMS) ? Par rapport à

la neurostimulation, l'échographie permet, à tout moment, le repositionnement de l'aiguille en fonction de la diffusion, à la condition d'une bonne visualisation. Le concept est différent entre neurostimulation et échographie car un seuil d'intensité élevé peut être accepté sous échographie. C'est la position de l'aiguille qui est privilégiée. L'aiguille peut dépasser légèrement la cible pour assurer une meilleure diffusion de l'anesthésique local avec moins de diffusion rétrograde (backflow). Dans ce cas, le seuil d'intensité peut être élevé.

Nous traversons une période de doute à l'égard de la neurostimulation qui jusqu'à présent nous donnait un sentiment de sécurité relative. Heureusement que ce dernier a été conforté par de nombreuses études qui confirment la rareté des complications neurologiques après réalisation d'un bloc en neurostimulation. Sous échoguidage, il est possible de constater une absence de réponse à la neurostimulation ou de n'observer qu'une réponse frustre lors d'un contact aiguille-nerf [8]. La possibilité d'une absence de paresthésie ou de douleur lors d'un franchissement de l'épinèvre par l'aiguille et l'absence de difficulté d'injection lors d'une position intraneurale extrafasciculaire remettent en cause un certain nombre de dogmes. Dans le cas d'une telle injection, il peut être observé un gonflement du nerf et la constitution d'un halo intraneural [16]. Ces données échographiques permettent également d'envisager la possibilité d'injections intraneurales relativement fréquentes et passées inaperçues lors d'une technique utilisant seule la neurostimulation. Ces injections intraneurales extrafasciculaires à volume restreint ne semblent pas être responsables de neuropathie. Il n'en est pas de même de l'injection intrafasciculaire car la barrière à ne pas franchir est le périnèvre qui forme une barrière de diffusion, maintient une pression positive à l'intérieur du fascicule et protège le tissu neural. La paresthésie fulgurante et la résistance dès l'injection de l'anesthésique local restent les signes d'une injection intrafasciculaire. D'après une étude chez l'homme en microneurographie, il serait nécessaire, pour obtenir une position intrafasciculaire, de déclencher des sensations électriques à des courants de moins de 40 µA soit 0,04 mA [17]. Ceci démontre tout l'intérêt de disposer d'un neurostimulateur performant surtout aux très faibles intensités [18]. La recherche systématique de l'IMS et de la perte de la réponse à l'injection du premier millilitre de la solution anesthésique reste un élément supplémentaire de sécurité [4]. En approche finale sous échographie, la qualité de la résolution du ou des derniers millimètres reste à préciser. Néanmoins, un conseil reste d'actualité, c'est de traiter les nerfs avec grand soin [19].

5. L'ÉCHOGRAPHIE

C'est une aide utile pour localiser les différents éléments anatomiques comme les artères et les nerfs, pour placer l'aiguille au contact de la cible et pour observer la diffusion de l'anesthésique local. Cependant, il est intéressant de noter que, même si la diffusion de l'anesthésique local est visualisée après contact aiguille-nerf, il n'existe aucune garantie d'un bloc nerveux adéquat [20]. Les résultats des quelques études qui ont comparé la neurostimulation à l'échoguidage montrent une qualité de bloc améliorée, un délai d'installation raccourci dans le groupe échoguidé et une diminution des quantités d'anesthésiques locaux administrées. Le taux de succès du bloc n'est pas différent entre les groupes pas plus que les complications mineures. Ces études souffrent de biais méthodologiques évidents parmi lesquels l'absence de calcul de la puissance de

l'étude, l'absence d'évaluation en aveugle et l'utilisation d'une échelle d'évaluation du bloc sensitif qui n'a pas été validée.

L'étude des taux de succès initiaux obtenus en neurostimulation, montre que les résultats se situent autour de 90 %. Les blocs de complément permettent probablement d'atteindre un taux de succès proche de 95 %. Il est donc difficile de montrer que l'échoguidage fait mieux que cela, sachant que les taux d'échec peuvent aller jusqu'à plus de 15 % [11, 21]. Il faut distinguer les complications à type de ponction vasculaire ou pleurale qui, à l'évidence devraient diminuer sous échoguidage, des complications neurologiques. Ces dernières se répartissent selon leur gravité en complications sévères dont la durée est supérieure à 3 mois et l'incidence est en principe exceptionnelle (entre 1 et 10/10000) et en complications mineures résolutives avant 3 mois qui se comptent en pourcentage. Ainsi, la comparaison des taux de complications neurologiques mineures observées après recherche en neurostimulation ou après échoguidage devrait être l'objet d'études futures. En revanche, la comparaison des taux de complications neurologiques majeures (qui pourtant nous intéressent tout particulièrement) nécessiterait un nombre tellement important de patients compte tenu de la rareté de leur survenue, qu'on ne disposera pas de cette information avant longtemps.

Concernant le délai d'action du bloc, si les résultats paraissent en faveur de l'échoguidage il faudra attendre d'autres études comparatives pour savoir si cette différence est bien réelle et cliniquement pertinente. La réduction des quantités d'anesthésiques locaux avait déjà été proposée à partir d'études utilisant la neurostimulation qu'il s'agisse d'un abord axillaire du plexus brachial ou d'un bloc du nerf fémoral [22, 23]. Il est néanmoins possible que l'échoguidage, grâce à la visualisation de la diffusion de la solution anesthésique, puisse permettre de réduire encore plus ces quantités tout en garantissant un taux de succès élevé.

Bien entendu, de plus en plus d'études montrent qu'on peut utiliser l'échoguidage seul avec des résultats tout à fait comparables à ceux observés à l'aide du neurostimulateur. Un travail récent a évalué l'efficacité de la neurostimulation comme technique adjuvante de l'échoguidage chez 94 patients bénéficiant de blocs supraclaviculaires [13]. Sous repérage échographique, l'aiguille de neurostimulation était mise en contact avec le nerf, la réalité de ce contact répondant à une définition précise. Le neurostimulateur était alors activé avec une intensité à 0,5 mA et une durée d'impulsion de 0,1 ms. Les critères échographiques permettant de définir le contact nerf-aiguille n'étaient obtenus que chez 74 patients. Parmi ceux-ci, il n'était observé aucune réponse motrice chez dix patients. Le taux de succès du bloc n'était pas différent entre les groupes ayant présenté (n = 64 ; Succès = 88%)) ou non (n = 10 ; Succès = 90%) une réponse motrice à la neurostimulation. Les auteurs concluent au peu d'intérêt de l'utilisation du neurostimulateur comme adjuvant de l'échoguidage. En prenant le problème à l'envers et en gardant le même critère de jugement à savoir le taux de succès, on aurait probablement conclu au peu d'intérêt de l'échographie comme technique adjuvante de la neurostimulation. Le concept qui émerge des équipes qui utilisent l'échographie seule est la notion d'espace de diffusion dont le contrôle visuel permet de mieux appréhender l'échec ou le succès du bloc en cours de réalisation sans toutefois garantir un succès à 100 %. C'est probablement ce contrôle visuel de la diffusion de la solution anesthésique qui pourrait expliquer

un délai d'installation du bloc plus court et une quantité moindre d'anesthésique local lors de l'échoguidage par rapport à la neurostimulation.

L'échographie permet d'observer la mobilité des structures anatomiques [1, 24] et la difficulté de rester au contact d'un nerf lors du relâchement de l'aiguille. Cette dernière, en approche finale, doit rester à proximité du nerf. Il est important d'essayer de discerner l'aiguille par l'observation d'un signal hyperdense combiné à un effet d'ombre sous l'aiguille [25]. Lors d'une approche axiale, il est nécessaire de modifier le point de ponction et de piquer le plus tangentiel et dans le grand axe de la sonde. L'approche perpendiculaire de l'aiguille par rapport à la sonde ne permet pas la visualisation directe de l'aiguille et en particulier de l'extrémité, seule une vision indirecte est possible avec le déplacement des structures traversées. Même en approche axiale, il existe des difficultés pour visualiser la totalité de l'aiguille. Pour l'alignement de la sonde avec l'aiguille, il existe une marge minime de déplacement ne dépassant pas un millimètre. La visualisation du corps de l'aiguille et de son extrémité a été l'objet de nombreux travaux par les radiologues et les anesthésistes chacun essayant de l'améliorer un peu plus en utilisant des moyens très divers [26-29]. Ce débat est d'actualité en anesthésie au point que nos partenaires industriels redoublent d'effort pour mettre à disposition des anesthésistes des aiguilles qui seraient encore plus échogènes. Ce débat est-il réellement pertinent, on peut en douter compte tenu des différents facteurs intervenant dans la plus ou moins bonne visualisation des aiguilles (diamètre, angulation par rapport à la sonde échographique, revêtement…). Finalement la visualisation des aiguilles de neurostimulation utilisées actuellement semble satisfaisante pour la réalisation de blocs superficiels. Différents moyens existent pour mieux apercevoir l'extrémité de l'aiguille. L'injection d'une petite quantité de sérum salé ou glucosé génère dans les tissus un signal échographique, immédiatement adjacent à l'extrémité de l'aiguille [1].

La visualisation des structures anatomiques n'est pas toujours facile, en particulier chez des patients qui pourtant seraient de bons «candidats » comme les obèses et ce même avec des opérateurs entraînés. Pour les blocs profonds, le problème est autant la visualisation des structures nerveuses que celle de l'aiguille. Là encore, des « trucs et astuces » ont été proposés comme le repérage premier des structures vasculaires sachant que les nerfs ne sont jamais loin ou encore l'utilisation de la technique dite de l'ascenseur qui consiste à suivre un nerf sur son trajet tout en remontant depuis l'endroit où il est facilement visualisé jusqu'au site de ponction où les structures nerveuses sont éventuellement plus difficiles à repérer [30]. Cette utilisation dynamique de l'échographie par un balayage avec la sonde de la région concernée renforce encore l'utilité de cette technique. Les particularités anatomiques comme les positions des nerfs et des vaisseaux peuvent être détectées. C'est le cas au niveau axillaire des variations de position du nerf médian par rapport à l'artère ou des variations de trajet du nerf musculocutané pouvant aller jusqu'à la fusion de ce nerf avec le nerf médian [24, 31]. Dans cette même région, il est possible de visualiser l'existence d'un dédoublement de l'artère brachiale ou simplement de détecter le nombre et la position des veines. Au niveau interscalénique, le positionnement des racines C5 et/ou C6 au sein du muscle scalène antérieur peut être identifié [32]. Au niveau poplité, la hauteur variable de la bifurcation des deux contingents du nerf sciatique peut être précisée [33].

De nombreux artéfacts ont été décrits en échographie (échos de répétition, image en miroir…) qui peuvent rendre difficile l'interprétation d'une image. Enfin les nerfs, même s'ils sont caractérisés par une moindre anisotropie par rapport aux tendons ou aux muscles, peuvent quand même subir cette propriété physique [34]. Ainsi, le fait de bouger la sonde d'échographie de 10 ± 5° en direction crâniale ou caudale peut rendre le nerf isoéchogène et par conséquent le faire disparaître de l'image [35, 36]. Citons encore l'absence de prédictibilité qu'un patient donné soit ou ne soit pas échogène, et le fait que l'échographie soit un examen très opérateur dépendant.

Même si les limites sont encore nombreuses, les avantages de l'échographie sont indéniables. Par sa visualisation en temps réel, elle est en train de révolutionner notre pratique de l'anesthésie locorégionale. La neurostimulation apporte des renseignements supplémentaires et c'est dans les situations difficiles, de mauvaise visibilité, de faible résolution, que les différentes techniques sont le plus complémentaires.

CONCLUSION

A l'heure du choix, il semble nécessaire d'associer tous les moyens pour obtenir un meilleur résultat. C'est le rapport bénéfice-risque qui doit dicter notre conduite jusqu'à la preuve qu'une technique utilisée seule apporte toute satisfaction. Mais, l'échographie est une avancée tellement significative en ALR qu'il faut s'efforcer de l'adopter [37]. Faisons le parallèle avec l'automobile, pourquoi devrait-on choisir entre les différents éléments de sécurité comme l'ABS et l'ESP, la carte routière et le GPS, la ceinture de sécurité et l'airbag ? Le raisonnement peut être identique pour les techniques de repérage en ALR. Utilisons tous les moyens et gardons la maîtrise de nos gestes.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Gray AT. Ultrasound-guided Regional Anesthesia. Current State of the Art. Anesthesiology 2006;104:368-73.

[2] Jochum D, Delaunay L. La neurostimulation, le neurostimulateur et la multistimulation raisonnée... [Editorial]. Ann Fr Anesth Réanim 2005; 24: 236–8.

[3] Denny NM, Harrop-Griffiths W. Location, location, location! Ultrasound imaging in regional anaesthesia. Br J Anaesth 2005; 94: 1-3.

[4] Jochum D. Quelles recommandations pour les techniques de repérage des blocs plexiques et tronculaires des membres? In: La collection de la SFAR, editor. Les blocs périphériques des membres chez l'adulte. Recommandations pour la pratique clinique. Paris: Elsevier SAS; 2004. p 69-92.

[5] Urmey WF, Stanton J. Inability to consistently elicit a motor response following sensory paresthesia during interscalene block administration. Anesthesiology 2002;96:552-4.

[6] Bollini CA, Urmey WF, Vascello L, Cacheiro F. Relationship between evoked motor response and sensory paresthesia in interscalene brachial plexus block. Reg Anesth Pain Med 2003;28:384-8.

[7] Karaca P, Hadzic A, Yufa M, Vloka JD, Brown AR, Visan A, Sanborn K, Santos AC. Painful paresthesiae are infrequent during brachial plexus localization using low-current peripheral nerve stimulation. Reg Anesth Pain Med 2003;28:380-3.

[8] Perlas A, Niazi A, McCartney C, Chan V, Xu D, Abbas S. The sensitivity of motor response to nerve stimulation and paresthesia for nerve localization as evaluated by ultrasound. Reg Anesth Pain Med 2006;31:445-50.

[9] Sauter AR, Smith HJ, Stubhaug A, Dodgson MS, Klaastad O. Use of magnetic resonance imaging to define the anatomical location closest to all three cords of the infraclavicular brachial plexus. Anesth Analg 2006;103:1574-6.
[10] Bloc S, Garnier T, Komly B, Leclerc P, Mercadal L, Morel B, Dhonneur G. Single-stimulation, low-volume infraclavicular plexus block: influence of the evoked distal motor response on success rate. Reg Anesth Pain Med 2006;31:433-7.
[11] Sites BD, Beach ML, Spence BC, Wiley CW, Shiffrin J, Hartman GS, Gallagher JD. Ultrasound guidance improves the success rate of a perivascular axillary plexus block. Acta Anaesthesiol Scand 2006;50:678-84.
[12] Handoll HH, Koscielniak-Nielsen ZJ. Single, double or multiple injection techniques for axillary brachial plexus block for hand, wrist or forearm surgery. Cochrane Database Syst Rev 2006;1: CD003842.
[13] Beach ML, Sites BD, Gallagher JD. Use of a nerve stimulator does not improve the efficacy of ultrasound-guided supraclavicular nerve blocks. J Clin Anesth 2006;18:580-4.
[14] Orebaugh SL. The femoral nerve and its relationship to the lateral circumflex femoral artery. Anesth Analg 2006;102:1859-62.
[15] Ay S, Akinci M, Sayin M, Bektas U, Tekdemir I, Elhan A. The axillary sheath and single-injection axillary block. Clin Anat 2007;20:57-63.
[16] Bigeleisen PE. Nerve puncture and apparent intraneural injection during ultrasound-guided axillary block does not invariably result in neurologic injury. Anesthesiology 2006;105:779-83.
[17] Rice AS, McMahon SB. Peripheral nerve damage and regional anaesthesia [Letter]. Br J Anaesth 1995;70:594.
[18] Jochum D, Iohom G, Diarra DP, Loughnane F, Dupré LJ, Bouaziz H. An objective assessment of nerve stimulators used for peripheral nerve blockade. Anaesthesia 2006;61:557-64.
[19] Borgeat A. Regional anesthesia, intraneural injection, and nerve injury: beyond the epineurium. Anesthesiology 2006;105:647-8.
[20] Peterson MK, Millar FA, Sheppard DG. Ultrasound-guided nerve blocks [Editorial]. Br J Anaesth 2002;88:621-4.
[21] Williams SR, Chouinard P, Arcand G, Harris P, Ruel M, Boudreault D, Girard F. Ultrasound guidance speeds execution and improves the quality of supraclavicular block. Anesth Analg 2003;97:1518-23.
[22] Koscielniak-Nielsen ZJ, Rotboll Nielsen P, Sorensen T, Stenor M. Low dose axillary block by targeted injections of the terminal nerves. Can J Anaesth 1999;46:658-64.
[23] Casati A, Fanelli G, Beccaria P, Magistris L, Albertin A, Torri G. The effects of single or multiple injections on the volume of 0.5% ropivacaine required for femoral nerve blockade. Anesth Analg 2001:93;183-6.
[24] Retzl G, Kapral S, Greher M, Mauritz W. Ultrasonographic findings of the axillary part of the brachial plexus. Anesth Analg 2001;92:1271–5.
[25] Grau T. Ultrasonography in the current practice of regional anaesthesia [Review]. Best Pract Res Clin Anaesthesiol 2005;19:175-200.
[26] Jones CD, McGahan JP, Clark KJ. Color Doppler ultrasonographic detection of a vibrating needle system. J Ultrasound Med 1997;16:269-74.
[27] Culp WC, McCowan TC, Goertzen TC, Habbe TG, Hummel MM, LeVeen RF, Anderson JC. Relative ultrasonographic echogenicity of standard, dimpled, and polymeric-coated needles. J Vasc Interv Radiol 2000;11:351-8.
[28] Schafhalter-Zoppoth I, McCulloch CE, Gray AT. Ultrasound visibility of needles used for regional nerve block: an in vitro study. Reg Anesth Pain Med 2004;29:480-8.
[29] Tsui BC. Facilitating needle alignment in-plane to an ultrasound beam using a portable laser unit. Reg Anesth Pain Med 2007;32:84-8.
[30] Tsui BC, Finucane BT. The importance of ultrasound landmarks: a "traceback" approach using the popliteal blood vessels for identification of the sciatic nerve [letter]. Reg Anesth Pain Med 2006;31:481-2.
[31] Orebaugh SL, Pennington S. Variant location of the musculocutaneous nerve during axillary nerve block. J Clin Anesth 2006;18:541-4.

[32] Harry WG, Bennett JD, Guha SC. Scalene muscles and the brachial plexus: anatomical variations and their clinical significance. Clin Anat 1997;10:250-2.
[33] Schwemmer U, Markus CK, Greim CA, Brederlau J, Kredel M, Roewer N. Sonographic imaging of the sciatic nerve division in the popliteal fossa. Ultraschall Med 2005;26:496-500.
[34] Silvestri E, Martinoli C, Derchi LE, Bertolotto M, Chiaramondia M, Rosenberg I. Echotexture of peripheral nerves: correlation between US and histologic findings and criteria to differentiate tendons. Radiology 1995;197:291-6.
[35] Chantzi C, Saranteas T, Zogogiannis J, Alevizou N, Dimitriou V. Ultrasound examination of the sciatic nerve at the anterior thigh in obese patients. Acta Anaesthesiol Scand 2007;51:132.
[36] Soong J, Schafhalter-Zoppoth I, Gray AT. The importance of transducer angle to ultrasound visibility of the femoral nerve. Reg Anesth Pain Med 2005;30:505.
[37] Hopkins PM. Ultrasound guidance as a gold standard in regional anaesthesia [Editorial]. Br J Anaesth 2007;98:299-301.