

## Paresthésie, neurostimulation, échographie : l'union fait la force



**Correspondance :** Olivier Choquet,  
Département d'anesthésie-réanimation,  
Hôpital de la conception,  
147 Boulevard Baille,  
13385 Marseille cedex 05.  
Olivier.Choquet@mail.ap-hm.fr

L'anesthésiste qui réalise un bloc nerveux périphérique (BNP) cherche à localiser les nerfs desservant la zone à opérer pour les imprégner d'anesthésique local sans provoquer de lésion nerveuse. À peine la neurostimulation électrique (NS) s'est-elle imposée sur les autres techniques de repérages des nerfs et notamment sur la recherche intentionnelle de paresthésies mécaniques (PM), que les publications se multiplient sur l'emploi des ultrasons en ALR. Les blocs échoguidés ont déjà dépassé le statut de techniques émergentes et leur essor paraît inéluctable. L'échographie est encensée par certaines équipes qui prônent dès maintenant l'abandon de la NS (1). Ainsi, une polémique NS — ultrasons (US) succède à la controverse NS — PM. L'objectif de cet exposé est de montrer que PM, NS et US sont d'excellents alliés pour améliorer l'efficacité et la sécurité des blocs. Les deux premières parties les replacent dans un contexte chronologique. L'échographie nous montre ensuite que l'injection neurale est possible et qu'elle n'est pas synonyme de lésion nerveuse. Puis les règles de la NS sont actualisées. La dernière partie propose une stratégie actualisée.

### ■ Des origines à la paresthésie mécanique

En 1884, Halsted injectait un demi-millilitre d'une solution de cocaïne à l'intérieur de chacune des racines d'un plexus brachial exposé chirurgicalement, pour l'anesthésier. Quelques années plus tard, Victor Pauchet (2) détaillait l'injection directe endoneurale à ciel ouvert avec la novocaïne : « *des troncs mis à nu peuvent être*

*Olivier Choquet*

*interrompus en y injectant un peu de solution à 1/2 p. 100 ou 1 p. 100. Il se produit alors un gonflement fusiforme du nerf qui, du reste, disparaît rapidement. Le liquide injecté diffuse des deux côtés, c'est pourquoi une injection endoneurale peut agir sur les rameaux du nerf qui ont quitté le tronc à proximité du point injecté »...* Pour l'injection périnerveuse ou endoneurale par voie sous-cutanée, il précisait que « *l'anesthésie, à travers la peau, de gros troncs nerveux isolés, souvent associée à l'infiltration périphérique, est soumise à certaines règles : la recherche des troncs nerveux avec la pointe de l'aiguille est indispensable... Un très bon indice dans tous les cas est fourni par les paresthésies rayonnant vers la périphérie, qui succèdent au contact du nerf par l'aiguille... Le temps qu'il faut attendre après l'injection dépend de la façon dont on a atteint les nerfs. Si on met l'aiguille dans le tronc, ce qui arrive pour le trijumeau, l'interruption est presque instantanée. Si l'on a pu injecter l'anesthésique local qu'autour du nerf, cinq à vingt minutes se passent avant l'interruption.* » On a oublié avec le temps cette description originelle de l'injection intraneurale augurant un bloc d'installation rapide par l'inventeur de l'ALR.

Jusqu'aux années 1970, la localisation nerveuse a reposé sur les repères de surface, la perte de résistance, l'abord transartériel axillaire et la recherche de paresthésies mécaniques qui reste la technique de référence pour certains anglosaxons. La PM consiste à rechercher le nerf au moyen d'une aiguille en déclenchant des dysesthésies plus ou moins désagréables dans le territoire qu'il est supposé innervé (3). L'aiguille est alors en place, et immobilisée pour injecter de l'anesthésique local. Les partisans des biseaux longs s'opposent à ceux des biseaux courts. Chez l'animal, un biseau long (12-15°) pénètre plus facilement dans un nerf (4). Dans ce travail expérimental, l'injection intrafasciculaire d'anesthésiques locaux et/ou de sérum salé a provoqué des lésions similaires de la barrière capillaire et une dégénérescence axonale. C'est l'injection intrafasciculaire elle-même qui est responsable de lésions ischémiques en cas de pression locale élevée excédant la pression capillaire pendant une quinzaine de minutes (5). On amalgame les termes intrafasciculaire et intraneural. Le dogme de « *l'injection intraneurale dangereuse à éviter à tout prix* » voit le jour (6) et perdure (7) On retient que l'utilisation d'aiguilles à biseau court est recommandée même si les lésions sont plus graves

en cas d'injection intraneurale (8). Elles provoqueraient moins de paresthésies (9), ont tendance à repousser les nerfs et les sensations tactiles qu'elles procurent lors du passage des fascias sont utiles à la procédure.

## De la paresthésie mécanique à la neurostimulation électrique

La controverse des années 2000 oppose la neurostimulation à la paresthésie mécanique. D'un côté, on montre que l'intensité pour obtenir une réponse peut être très élevée lorsque le neurostimulateur est allumé après avoir déclenché une PM (10). De l'autre, on rétorque qu'une procédure adéquate de NS ne donne généralement pas de PM (11). En France, la recherche intentionnelle de paresthésies mécaniques est déconseillée. On considère, sans que cela ne soit formellement prouvé, qu'une PM est déclenchée lorsque la pointe de l'aiguille touche le nerf et que l'injection intraneurale s'accompagne d'une violente douleur. On retient que les complications neurologiques seraient plus fréquentes avec la PM qu'avec la neurostimulation (12) et que le risque serait maximal avec des aiguilles à biseau long (13). En 2003, la neurostimulation électrique a été préconisée par les recommandations de pratique clinique de la SFAR (14), et utilisée par la plupart des anesthésistes. La procédure usuelle consiste à débiter la recherche avec une intensité de courant d'environ 2 mA pour une durée de 0,1 ms. Une charge de courant élevée permet de localiser les nerfs superficiels à travers la peau et de repérer plus facilement les nerfs profonds. On considère que l'aiguille est en place lorsque l'on obtient une bonne réponse avec une intensité de stimulation de 0,5 mA. On retient qu'il ne faut pas rechercher de paresthésie, qu'il faut éviter toute injection pour une intensité inférieure à 0,5 mA et qu'il vaut mieux effectuer le bloc chez un patient réveillé car la douleur provoquée est le dernier signal d'alarme contre la lésion nerveuse.

Mais la NS n'a pas que des avantages. Cet indicateur de proximité nerveuse ne garantit pas 100 % de succès. Le taux d'échec reste de l'ordre de 5 %, comme avec la PM. L'échec est impondérable, même avec les injections multiples et les grands volumes. Les compléments et les conversions anesthésiques elles-mêmes ne sont pas dénuées de risques. Des paresthésies mécaniques involontaires, généralement sans gravité, sont fréquentes lors de l'approche finale du nerf (15). La NS n'est pas non plus une garantie absolue contre les complications neurologiques (16). Des neuropathies ont été rapportées lors de blocs nerveux pratiqués en neurostimulation, que des paresthésies mécaniques involontaires

soient survenues ou non (17, 18). On se demande alors si les principales causes ne sont pas l'erreur humaine ou un dysfonctionnement du circuit électrique (19). Quoi qu'il en soit, il reste à définir un protocole plus sûr et efficace pour l'anesthésie des nerfs périphériques.

## L'échographie change la donne

Après plus d'un siècle d'ALR à l'aveugle, on peut à présent obtenir une image des nerfs grâce à l'imagerie ultrasonore (20). La résolution de l'image est excellente avec un échographe performant et une sonde haute fréquence pour les abords superficiels. On peut ainsi, chez les patients échogènes, discerner le nerf, observer l'aiguille s'en approcher, le toucher, le pousser et éventuellement y pénétrer. Dans une étude récente portant sur la réalisation de blocs axillaires échoguidés, les auteurs ont constaté que le contact nerf-aiguille était fréquemment visualisé sans déclencher de paresthésie mécanique ni de réponse en NS jusqu'à 1 mA (21). Dans une autre étude portant sur des blocs axillaires effectués sous échographie sans NS, l'auteur cherchait délibérément à déclencher des paresthésies mécaniques ou à entrer dans le nerf avec la pointe de l'aiguille (22) : les pénétrations nerveuses survenaient la plupart du temps sans paresthésie mécanique et des injections intraneurales avec gonflement du nerf ont été observées sans douleur ni séquelle. Ces données laissent penser que le contact aiguille-nerf n'entraîne pas systématiquement de paresthésie mécanique, que l'aiguille peut être posée sur le nerf sans réponse en neurostimulation et qu'il est possible d'injecter quelques millilitres d'anesthésique local dans l'ambiance conjonctive d'un nerf sans le léser.

### Il existe trois possibilités d'injection : péri-neural, intraneural extrafasciculaire et intraneural intrafasciculaire ■

Ces données concordent avec des études expérimentales : l'injection intraneurale de ropivacaïne ne donne pas de lésion nerveuse chez le rat (23) ; chez le chien, c'est l'injection intrafasciculaire sous pression élevée qui s'accompagne de lésions fasciculaires persistantes, mais non l'injection intraneurale à basse pression (24, 25). Ces éléments conduisent à différencier à présent trois positions de la pointe de l'aiguille et trois sites d'injection : extra- (ou péri-) neural, intraneural extrafasciculaire et intraneural intrafasciculaire (26). Jusqu'à la publication de ces travaux, l'injection endonerveuse de Pauchet avait été complètement oubliée.

Ces différentes possibilités se conçoivent bien d'après l'anatomie du nerf périphérique qui est composé de fibres nerveuses et de tissu conjonctif.

- l'endonèvre est le tissu conjonctif lâche entourant chaque fibre, plus dense dans les canaux et les foramens ;
- le périnèvre est le tissu conjonctif dense enrobant un fascicule (faisceau) ;
- l'épinèvre est le tissu conjonctif enrobant tous les faisceaux du nerf.

Ceci donne au nerf périphérique, selon le niveau, un aspect échographique hypoéchogène ou hétérogène en nid-d'abeilles en coupe petit axe selon l'abondance du tissu de soutien ; en cas d'injection intraneurale, on peut observer le gonflement du nerf et encore distinguer certains fascicules en son sein.

## La neurostimulation électrique doit encore progresser

En électrophysiologie, la distinction entre intra- et extrafasciculaire est parfaitement connue. En microstimulation intraneurale où les fascicules des nerfs sont délibérément ponctionnés avec des aiguilles plus petites que celles utilisées pour les blocs périphériques, la majorité des patients décrivent des paresthésies mécaniques lorsque les fascicules sont empalés, mais seulement 10 % d'entre eux présentent des dysesthésies qui persistent quelques jours. Le courant nécessaire pour stimuler en intrafasciculaire, de l'ordre du  $\mu\text{A}$ , est beaucoup plus faible qu'en extrafasciculaire (27). Ce point est fondamental car certains neurostimulateurs de dernière génération sont fiables et calibrés pour administrer un courant avec une précision au dixième de mA à faible intensité. Contrairement aux modèles anciens, ces neurostimulateurs qui affichent l'intensité effectivement délivrée permettent de distinguer une position intra- et extrafasciculaire : une réponse motrice ou sensitive persistante à très faible intensité témoigne d'une possible position intrafasciculaire de la pointe de l'aiguille. Autour de 0,5 mA pendant 0,1 ms, c'est la disparition de la réponse en diminuant encore l'intensité qui permet de vérifier que la pointe n'est pas trop proche des fibres nerveuses. Une réponse motrice obtenue avec une intensité inférieure à 0,2 mA pour 0,1 ms peut être due à un positionnement intrafasciculaire de l'aiguille et doit être évitée.

L'intensité minimale de stimulation (IMS) lors de l'approche d'un nerf pour les blocs périphériques est définie comme la plus faible intensité pour laquelle une réponse en neurostimulation électrique est observée et en dessous de laquelle cette réponse disparaît.

Les principales règles de la procédure de NS peuvent se résumer ainsi (28-30) : utilisation d'un stimulateur de nerf performant, calibré, comportant des alarmes de dysfonctionnement de circuit électrique ; contrôle de l'intégrité du circuit avant de débiter la recherche et tout au long de la procédure ; absence de réponse en NS à très faible charge (en dessous de 0,2 mA — 0,1 ms) ; réponse nette à faible intensité (autour de 0,5 mA) aiguille libre ; disparition instantanée de la réponse à l'injection d'un millilitre d'anesthésique local, injection facile, indolore et sans résistance.

## Synthèse

L'échographie a déjà de fervents adeptes et des farouches adversaires. Ces derniers insistent sur les limites de la technique comme la résolution en profondeur, l'échogénicité variable, l'imprécision des contours, une courbe d'apprentissage longue, notamment pour contrôler et suivre l'aiguille en permanence, l'interprétation « opérateur dépendante » des images, la réussite subordonnée à la netteté, à l'identification adéquate du nerf, à l'évaluation de la diffusion anesthésique et à l'expérience.

L'échographie présente des avantages déterminants : visualisation de la cible nerveuse et des structures voisines, suivi du déplacement de l'aiguille, de la diffusion de la solution anesthésique, contribution à la formation des débutants. Des bénéfices prometteurs, variables d'une étude à l'autre, ont été obtenus en termes d'étendue du bloc, de réussite globale, de délai de réalisation et d'installation, d'incidence d'effets adverses.

En échographie, la pénétration des ultrasons étant inversement proportionnelle à la fréquence, c'est le site anatomique des structures nerveuses à identifier qui guide le choix de la sonde. Le compromis consiste à trouver une fréquence suffisamment élevée pour une bonne résolution des images mais pas trop pour une bonne pénétration des ultrasons. En fonction de la profondeur des nerfs à bloquer, on utilise la fréquence maximale permise par l'atténuation dans les tissus. Deux des principales limites actuelles restent la résolution en profondeur et la précision des contours. On se doit de rester prudent et modeste en analysant l'image. En effet, l'échostructure n'est pas un reflet fidèle de l'organisation des tissus et on a pu dire que, d'une certaine manière, l'échostructure était un artéfact, ce qui rappelle que l'image n'est pas l'objet (31). La procédure optimale d'approche d'un nerf sous échographie n'est pas déterminée et a été peu étudiée. Actuellement, on suit l'injection pour s'assurer que l'anesthésique local diffuse autour du nerf ciblé. L'aiguille est repositionnée en cours d'injection pour optimiser la diffusion périnerveuse, en évitant l'injection intraneurale.

On retrouve aussi un taux d'échec d'environ 5 % du fait de la mauvaise appréciation des éléments nerveux ou de la diffusion de l'anesthésique local (32). Il existe d'ores et déjà des controverses concernant d'une part le contrôle visuel permanent de la progression de l'aiguille dans l'axe de la sonde versus le repérage de l'extrémité de l'aiguille identifiée par l'injection de liquide continue (hydrodissection) ou discontinue (hydrolocalisation), d'autre part l'emploi de l'échographie seule versus l'échographie couplée à la neurostimulation.

Dans de très bonnes conditions visuelles et en surface, on peut assez facilement distinguer l'aiguille, sa pointe et le nerf, pour s'assurer de ne pas être en intraneural. Pour vérifier que l'épingle n'a pas été « empalé », on mobilise l'aiguille latéralement, et elle ne doit pas entraîner le nerf. On peut ainsi se passer de la NS qui permet toutefois de vérifier à l'occasion que l'on ne se trompe pas de structure ou de nerf. En revanche, pour les blocs profonds et/ou lorsque la qualité de l'image est moins bonne, l'échographie permet de diriger d'emblée l'aiguille vers le nerf ciblé et de la placer à peu près au bon endroit, mais il est plus difficile de situer précisément la pointe de l'aiguille par rapport au nerf ; la procédure de neurostimulation optimisée permet alors, en approche finale, de distinguer intra- et extrafasciculaire.

En neurostimulation, quand on n'a pas d'échographe, on doit se dire que la sensation de perte de résistance peut correspondre à une pénétration dans le nerf. Il est vraisemblable qu'un bloc qui

s'installe lentement soit induit par une injection extraneurale périnerveuse, alors qu'un bloc d'installation très rapide correspond à une injection intraneurale extrafasciculaire involontaire telle que la décrivait Victor Pauchet. Une paresthésie mécanique inopinée témoigne généralement d'un contact fasciculaire, et une réponse à faible intensité (0,3 à 0,6 mA pour 0,1 ms) reflète la position juxtafasciculaire de la pointe de l'aiguille, sans préjuger de sa situation intra- ou extraneurale. Une paresthésie mécanique, une injection près du nerf dans le plan profond sont sûrement des critères laissant présager un bloc efficace. Ces hypothèses restent à prouver dans le cadre d'études prospectives.

## ■ Conclusion

Aujourd'hui, l'échographie permet de mieux comprendre la neurostimulation. Le couple neurostimulation-échographie aide en général à éviter les viscères, à avancer du premier coup vers la cible, à différencier extraneural, intraneural, intrafasciculaire, à vérifier la diffusion périneurale, ce qui devrait au final majorer le confort, la sécurité, la fiabilité. Se lancer dans une nouvelle « guerre des nerfs » apparaît incongru. Des défis plus intéressants sont à relever pour que l'ALR progresse, comme sécuriser la NS et démocratiser l'échographie.

## Références

1. Sites BD, Brull R. Ultrasound guidance in peripheral regional anesthesia: philosophy, evidence-based medicine, and techniques. *Curr Opin Anaesthesiol* 2006;19:630-9.
2. Pauchet V, Sourdat P, Labat G, De Butler D'Ormont R. L'anesthésie régionale. Paris : Doin, 1927.
3. Choyce A, Chan VWS, Middleton WJ, Knight PR, Peng P, McCarthney CJL. What is the relationship between paresthesia and nerve stimulation for axillary brachial plexus block? *Reg Anesth Pain Med* 2001;26:100-4.
4. Selander D, Dhuner KG, Lundborg G. Peripheral nerve injury due to injection needles used for regional anesthesia. An experimental study of the acute effects of needlepoint trauma. *Acta Anaesthesiol Scand* 1977;21:182-8.
5. Selander D, Sjöstrand J. Longitudinal spread of intraneurally injected local anaesthetics. An experimental study of the initial distribution following intraneural injections. *Acta Anaesthesiol Scand* 1978;22:622-34.
6. Gentili ME, Wargnier JP. Peripheral nerve damage and regional anaesthesia. *Br J Anaesth* 1993;70:594.
7. Malinovsky JM. Paresthésie, échographie et injection périnerveuse. *Ann Fr Anesth Reanim* 2007;26:189-90.
8. Rice AS, McMahon SB. Peripheral nerve injury caused by injection needles used in regional anaesthesia: influence of bevel configuration, studied in a rat model. *Br J Anaesth* 1992;69:433-8.
9. Baranowski AP, Buist RJ. Peripheral nerve damage and regional anaesthesia. *Br J Anaesth* 1993;70:593-4.
10. Urmey WF, Stanton J. Inability to consistently elicit a motor response following sensory paresthesia during interscalene block administration. *Anesthesiology* 2002;96:552-4.
11. Karaca P, Hadzic A, Yufa M, et al. Painful paresthesiae are infrequent during brachial plexus localization using low-current peripheral nerve stimulation. *Reg Anesth Pain Med* 2003;28:380-3.
12. Jochum D. Quelles recommandations pour les techniques de repérage des blocs plexiques et tronculaires des membres ? In : SFAR, ed. Les blocs périphériques des membres chez l'adulte. Recommandations pour la pratique clinique. Paris, Elsevier, 2004:69-92.
13. Carter C, Sandberg W, Urmey WF, Stanton J. What happened to the paresthesia? *Anesthesiology* 2003;98:588-90.
14. Les blocs périphériques des membres chez l'adulte Recommandations pour la pratique clinique SFAR 2003 [http://www.sfar.org/s/article.php3?id\\_article=184](http://www.sfar.org/s/article.php3?id_article=184).

15. Fanelli G, Casati A, Garancini P, Torri G. Nerve stimulator and multiple injection technique for upper and lower limb blockade: failure rate, patient acceptance, and neurologic complications. *Anesth Analg* 1999;88:847-52.
16. Auroy Y, Benhamou D, Bouaziz H, *et al* and Groupe SOS ALR. Les blocs nerveux périphériques : vérités d'hier et défis de demain. *Ann Fr Anesth Reanim* 2006;25:82-3.
17. Auroy Y, Benhamou D, Bargues L, *et al*. Major complications of regional anesthesia in France: the SOS Regional Anesthesia Hotline Service. *Anesthesiology* 2002;97:1274-80.
18. Borgeat A, Ekatodramis G, Kalberer F, Benz C. Acute and nonacute complications associated with interscalene block and shoulder surgery: a prospective study. *Anesthesiology* 2001;95:875-80.
19. Choquet O, Feugeas JL, Capdevila X, Manelli JC. Défaut de circuit électrique et neurostimulation : cas cliniques et procédure de prévention. *Ann Fr Anesth Reanim* 2007;26:245-8.
20. Gray AT. Ultrasound-guided regional anesthesia: current state of the art. *Anesthesiology* 2006;104:368-73.
21. 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.
22. 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.
23. Iohom G, Lan GB, Diarra DP, *et al*. Long-term evaluation of motor function following intraneural injection of ropivacaine using walking track analysis in rats. *Br J Anaesth* 2005;94:524-9.
24. Hadzic A, Dilberovic F, Shah S, *et al*. Combination of intraneural injection and high injection pressure leads to fascicular injury and neurologic deficits in dogs. *Reg Anesth Pain Med* 2004;29:417-23.
25. Kapur E, Vuckovic I, Dilberovic F, *et al*. Neurologic and histologic outcome after intraneural injections of lidocaine in canine sciatic nerves. *Acta Anaesthesiol Scand* 2007;51:101-7.
26. Borgeat A. Regional anesthesia, intraneural injection, and nerve injury: beyond the epineurium. *Anesthesiology* 2006;105:647-8.
27. Rice AS. Peripheral nerve damage and regional anaesthesia. *Br J Anaesth* 1995;75:116-7.
28. Choquet O, Jochum D, Estebe JP, Dupre LJ, Capdevila X. Motor response following paresthesia during interscalene block: methodological problems may lead to inappropriate conclusions. *Anesthesiology* 2003;98:587-8.
29. Jochum D, Iohom G, Dupre LJ, Bouaziz H. In defense of the peripheral nerve stimulation technique. *Anesth Analg* 2006;103:1038-9.
30. Hadzic A. *Textbook of Regional Anesthesia and Acute Pain Management*. McGraw-Hill Ed, New York, 2007, 2000p.
31. Lemaître L, Matter D. Sémiologie élémentaire ultrasonore. <http://naxos.biomedicale.univ-paris5.fr/diue/IMG/pdf/ea14.pdf>
32. Chan VW, Perlas A, McCartney CJ, Brull R, Xu D, Abbas S. Ultrasound guidance improves success rate of axillary brachial plexus block. *Can J Anesth* 2007;54:176-82.