



Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com

HISTOIRE DE L'ANESTHÉSIE

Un siècle de neurostimulation : histoire du repérage nerveux par neurostimulateur en anesthésie locorégionale

A century of neurostimulation: An history of neurostimulatory nerve tracking in regional anaesthesia

Louis-Jean Dupré*, Jean-Louis Scholtes

Club histoire anesthésie-réanimation, 361, rue Lecourbe, 75015 Paris, France

L'électricité médicale et la transmission de l'influx nerveux

Bien que connue depuis longtemps, ce n'est qu'au XVIII^e siècle que l'électricité verra son utilisation proposée en médecine. Il ne s'agit encore que d'électricité statique ; les médecins « électrisent » les patients pour soigner principalement des hémiplegies [1]. Luigi Galvani (1737–1798) professeur d'obstétrique à Bologne, découvre un peu par hasard en 1786 un nouveau phénomène qu'il ne publiera qu'en 1791 : dans une préparation nerf-muscle d'une patte de grenouille, le muscle se contracte à chaque fois que le nerf est mis en contact avec un arc constitué de deux métaux différents (Fig. 1). Il considère que la contraction est due à un fluide électrique, comparable au fluide nerveux. Il introduit la notion d'électricité animale [2–4]. Galvani n'est ni le premier, ni le seul à étudier la contraction musculaire électrique, mais ses expériences publiques vont le rendre célèbre et son nom sera alors donné au courant galvanique¹ [4,5].

* Auteur correspondant : 608, route de la Bémaz, 73230 Saint-Alban-Leysse, France.

Adresse e-mail : ljdupre@wanadoo.fr (L.-J. Dupré).

¹ Un courant faradique est un courant interrompu produit par une bobine d'induction, un courant galvanique est un courant continu produit par une pile.

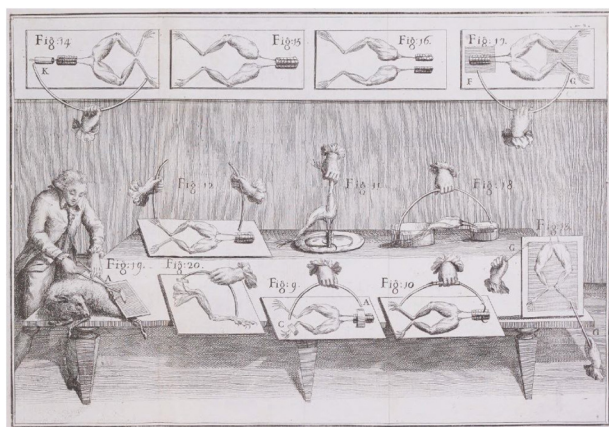


Figure 1. Les expériences de Galvani sur les pattes de grenouille [2].

Après la conduction nerveuse, c'est l'excitabilité nerveuse qui fait l'objet des recherches. En 1849, Guillaume-Benjamin Duchenne (1806–1875) observe, en appliquant des stimulations faradiques que certaines pathologies s'accompagnent d'une diminution de la contractilité électromusculaire. Il le constate dans les atteintes des nerfs périphériques ou des muscles, mais pas dans les pathologies cérébrales [6]. Plus tard, Wilhelm Erb (1840–1921) montre dans les atteintes nerveuses périphériques, la perte de l'excitabilité faradique alors qu'une contraction lente persiste avec des stimulations galvaniques. Dans les myopathies il observe une hypoexcitabilité faradique mais aussi galvanique [7]. Au début du XX^e siècle, bases pour le repérage nerveux sont posées, avec la notion que l'on peut stimuler les grosses fibres motrices sans stimuler les fibres sensibles et que la sensibilité de la recherche sera augmentée en utilisant l'aiguille exploratrice comme cathode, avec un temps de stimulation très court. Louis Lapicque (1866–1952) définit les premiers paramètres permettant de quantifier l'excitabilité nerveuse qui sont la rhéobase et la chronaxie. La rhéobase se définit comme la quantité de courant continu minimale de stimulation nerveuse pour obtenir une réponse musculaire. L'intensité n'a pas besoin d'être mesurée ; il suffit de connaître le voltage qui est alors appelé voltage rhéobasique. La chronaxie est définie comme la durée de passage d'un courant constant à début brusque, qui atteint le seuil de l'excitation avec une intensité égale au double de la rhéobase (pratiquement avec le voltage double du voltage rhéobasique). Cette valeur est caractéristique de l'excitabilité [8] (Fig. 2). Louis Lapicque a ainsi montré que la chronaxie est fonction de la grosseur des fibres [9]. Les chronaxies déterminées avec le pôle positif sur le nerf et avec le pôle négatif sont très différentes. Elle est plus basse lorsque la cathode sur le nerf. Elle est également indépendante de la température [10]. Au début du XX^e siècle, les bases pour le repérage nerveux sont posées, avec la notion que l'on peut stimuler les grosses fibres motrices sans stimuler les fibres sensibles et que la sensibilité de la recherche sera augmentée en utilisant l'aiguille exploratrice comme cathode, avec un temps de stimulation très court.

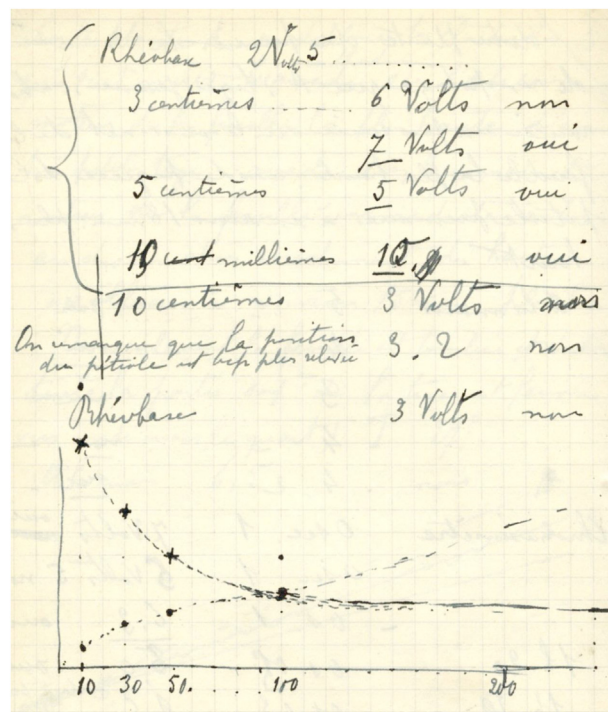


Figure 2. La rhéobase, note manuscrite de Louis Lapicque [Lab notebook : expériences du Brésil (1927), page 38. Series 2, Research Lab. Notebooks. Box MS 22, Folder 6. P.I. Nixon Medical Historical Library, UT. Health San Antonio. Avec autorisation].

Les premiers pas de la neurostimulation en ALR

L'anesthésie locorégionale va connaître un essor extraordinaire après la découverte en 1884, par Karl Köller (1857–1944) des propriétés anesthésiantes de la cocaïne [11]. Les blocs nerveux se font initialement par injection après dissection du tronc nerveux [12,13], mais rapidement les techniques percutanées pour les membres supérieurs et inférieurs, sont décrites. Les abords sont basés sur la recherche de paresthésies avec des repères anatomiques amenant parfois des constructions géométriques sophistiquées [14–16]. Georg Clemens Perthes (1869–1927) est devenu professeur et chef de service à la clinique chirurgicale universitaire de Tübingen en 1911. Il est connu pour sa description de l'ostéochondrite de hanche de l'enfant qui porte le nom de maladie de Legg-Calvé-Perthes et il s'intéresse à la radiologie et la radiothérapie [17]. Il a l'idée d'utiliser la neurostimulation pour les blocs nerveux, non pas comme aide à la recherche, mais pour valider de façon objective le bon positionnement de l'aiguille au contact du nerf. Perthes fait fabriquer des aiguilles en nickel, recouvertes sur toute leur longueur d'un vernis isolant. L'aiguille utilisée est montée sur une seringue contenant la procaine adrénalinée à injecter. L'aiguille est reliée au générateur de courant par un câble recouvert de caoutchouc. L'autre électrode est constituée par une plaque métallique, entourée de coton mouillé et fixée sur le corps du patient par une bande ou simplement placée sous les fesses de l'opéré. Le générateur de courant faradique est un appareil à induction



Figure 3. Georg Perthes réalise un bloc sus-claviculaire du plexus brachial avec neurostimulation, le générateur de courant faradique est sur la tablette à droite de la photo [The Royal College of Surgeons of Edinburgh avec autorisation].

fabriqué par la société Carl Georg Heynemann à Leipzig. Perthes n'utilise que le courant fourni par une partie de la couche la plus externe de la bobine secondaire pour la stimulation nerveuse. La force du courant est réglée par le déplacement du noyau de fer, qui peut être vu de l'extérieur sur une échelle, de sorte qu'un courant de n'importe quelle intensité de 0 à 1, juste inconfortable quand appliqué sur la langue est disponible pour la stimulation nerveuse. Le déclenchement de l'appareil est fait par un contact au pied. Le « courant fort » d'induction fourni par l'ensemble de la bobine secondaire peut être utilisé secondairement pour valider l'anesthésie à l'aide d'une petite brosse faradique avant le début de l'opération. Perthes va utiliser sa technique dans une bonne vingtaine de cas, surtout pour la chirurgie des membres inférieurs avec bloc sciatique et fémoral et accessoirement pour les membres supérieurs avec bloc du plexus brachial. Il injecte l'anesthésique local dès la réponse musculaire obtenue et observe qu'elle s'estompe immédiatement. Il se montre plus satisfait avec les blocs du membre inférieur qu'avec ceux du plexus brachial. Il utilise des quantités faibles d'anesthésique local et n'observe aucune complication. Il ne précise pas l'intensité des courants utilisés, simplement que l'intensité maximale est celle observée, lorsque le patient a une sensation douloureuse sur la langue [17,18] (Fig. 3). La technique ne connaîtra pas un grand développement. Heinrich Braun (1862–1934) lui consacre quelques lignes dans les différentes éditions de son livre après 1912, mais on ne le sent pas vraiment très convaincu. Il suggère pour générer le courant faradique l'utilisation d'une dynamo de Tesla, jouet d'enfant répandu et peu onéreux. La stimulation est déclenchée à chaque tour de manivelle donné par l'assistant [19] (Fig. 4). En 1920, André Strohl (1887–1977) qui réalisera les études électrophysiologiques des premiers cas décrits du syndrome de Guillain Barré, met au point un stimulateur portable, basé sur un système mécanique simple pour obtenir un courant de stimulation très bref. Une masse tombant sur deux palettes rapprochées, ferme et ouvre le circuit électrique [20]. Cet appareil, appelé Egersimètre, était surtout destiné au diagnostic neurologique (Fig. 5).

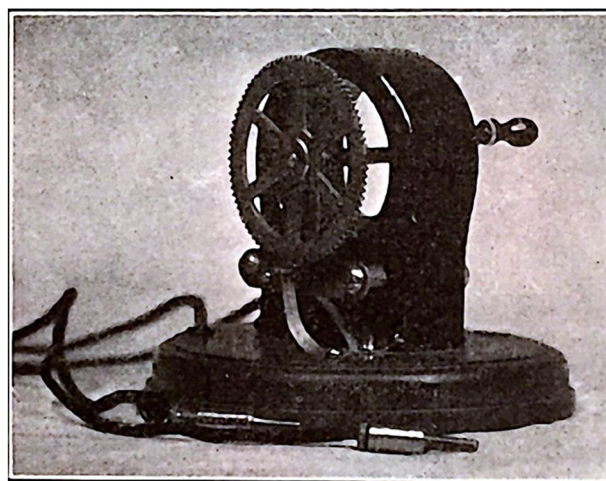


Figure 4. La dynamo Tesla recommandée par Henrich Braun [19].

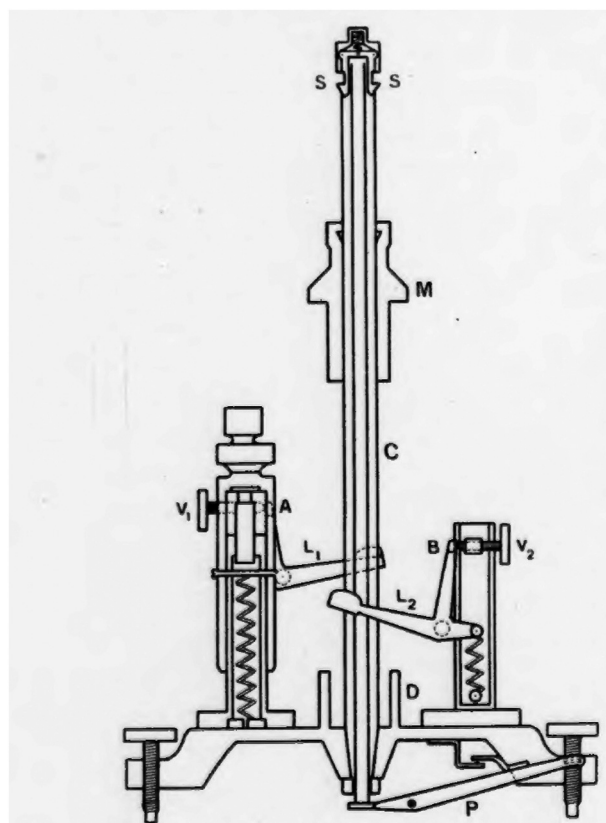


Figure 5. Le principe mécanique de l'Egersimètre de Strohl [20].

La renaissance de la neurostimulation

Pendant près de 50 ans, la neurostimulation va être complètement occultée à part dans des cas très particuliers, neurostimulation percutanée pour repérer les nerfs sensitifs [21,22] et neurostimulation pour valider la position de cathéters par voie intrathécale ou sur le nerf phrénique [23,24]. Elle va renaître au début des années soixante grâce à la vulgarisation des transistors qui permet de faire des appareils perfectionnés de petite taille [25], et par le monitoring de la curarisation dont Harry Cunningham

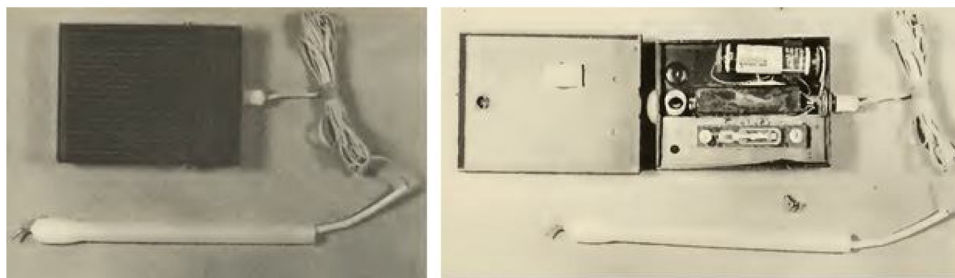


Figure 6. Le premier stimulateur à transistor, conçu spécifiquement pour la recherche nerveuse [30].



Figure 7. Images non exhaustives des stimulateurs et aiguilles isolées disponibles dans les années 1990 [documents de l'auteur].

Churchill-Davidson (1922–1995), alors jeune consultant en anesthésie à l'Hôpital Saint Thomas de Londres se fera le chantre [26–28]. Gordon Michael Greenblatt (1932) et Jordan Samuel Denson (1918–1981) vont relancer la technique en 1962, en utilisant un moniteur de curarisation. Ils publient une série de 87 blocs de localisation très variée, tous efficaces. Ils concluent que le stimulateur s'est révélé utile pour réduire le volume et dosage des agents anesthésiques locaux, pour bloquer les nerfs difficiles à localiser, pour l'enseignement des techniques. Il a permis d'augmenter considérablement le pourcentage de réussite des anesthésies [29]. Un stimulateur à transistor, destiné à la recherche nerveuse est proposé la même année, mais dans un cadre chirurgical pour le repérage du nerf facial dans la chirurgie de la parotide [30] (Fig. 6). La neurostimulation est alors suggérée pour des blocs réputés difficiles comme le bloc du nerf obturateur au niveau du trou obturateur [31,32] ou des abords nouveaux comme le bloc infra-claviculaire du plexus brachial ou du nerf sciatique en position de lithotomie [33,34], mais aussi pour la formation des jeunes anesthésistes [35]. La recherche nerveuse se fait alors avec des moniteurs de curarisation bricolés, avec des cathéters veineux comme aiguilles isolées ou avec des aiguilles non isolées [36–38]. Au début des années 1980, Phulchand Prithvi Raj (1931–2016) avec des études cliniques, mais aussi en laboratoire va s'atteler à codifier la technique de recherche nerveuse par stimulation, à définir les qualités souhaitables pour un neurostimulateur d'anesthésie régionale et à montrer la supériorité des aiguilles isolées [39–42]. Avec ces données, l'industrie consciente des débouchés importants de la technique pour la pratique quotidienne, va développer des neurostimulateurs spécifiques et des aiguilles isolées (Fig. 7), permettant à la neurostimulation de devenir la

technique de repérage de référence et à l'anesthésie régionale périphérique de se développer [43].

La multistimulation

Des études ont comparé le taux de réussite de différentes techniques d'abord du plexus brachial par voie axillaire, avec la recherche par neurostimulation. Elles n'ont pas montré d'avantage déterminant pour cette dernière [44–46] confirmant ainsi le faible intérêt de Perthes de la stimulation pour le plexus brachial [18]. L'un de ces auteurs note cependant qu'un bloc plus complet peut être obtenu avec la recherche de plusieurs nerfs [46], ce que décrivait déjà Greenblatt en stimulant et injectant séparément les nerfs ulnaire, médian et radial [29]. L'équipe d'anesthésie de l'université de Sherbrooke propose alors la recherche et l'infiltration des 4 nerfs du plexus en axillaire. Elle publie quelques années plus tard une étude comparant 5 techniques : la recherche de 4 nerfs, la recherche du musculocutané et d'un autre nerf ciblé sur le territoire chirurgical, la recherche d'un seul nerf, non centré sur la chirurgie. Il constate que les deux premières techniques donnent de meilleurs résultats sans pouvoir les départager [47,48]. Le risque de léser en multistimulation un nerf déjà anesthésié au niveau axillaire où les troncs nerveux sont proches, va inciter à faire un abord plus distal au canal huméral [49,50]. Le taux élevé de succès de l'auteur sera confirmé dans d'autres grandes séries [51,52]. La multistimulation permet un taux de réussite plus élevé, mais aussi l'utilisation de volumes réduits d'anesthésique local et diminue l'incidence de la toxicité systémique des anesthésiques [53–56]. La multistimulation va alors connaître un essor

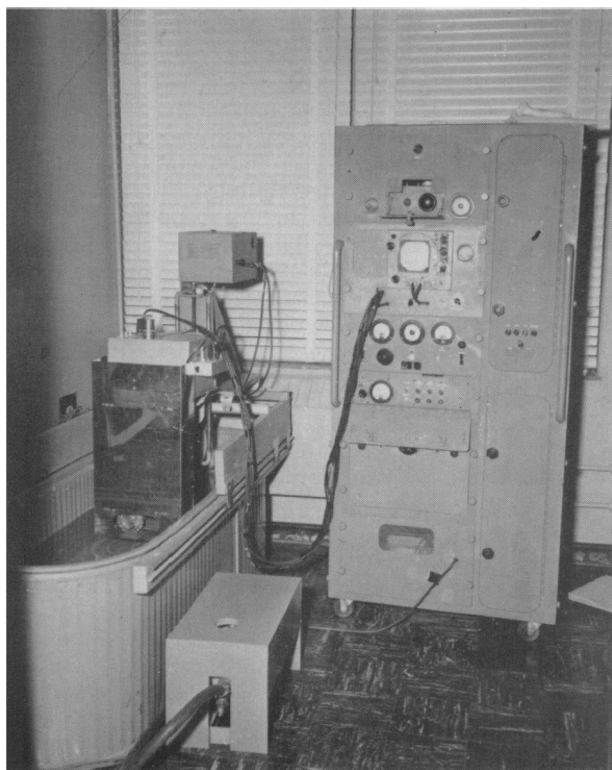


Figure 8. Le somatoscope dans sa version de 1954. À gauche la baignoire pour recevoir le patient [65].

considérable, pour de très nombreux blocs [57–62]. Mais si la multistimulation paraît indispensable au niveau axillaire et au canal huméral, intéressante pour les blocs sciatiques, elle est plus discutable pour les autres blocs [63].

Le déclin de la neurostimulation

Au début des années cinquante, Douglass Howry (1920–1969) et Joseph Holmes (1909–1962) vont révolutionner l'imagerie médicale avec l'introduction de l'échographie [64,65]. Les premiers appareils, appelés somascope, sont encombrants et exigent que le patient baigne dans l'eau (Fig. 8). Ils n'étaient pas compatibles avec une utilisation clinique. Les progrès techniques permettant de remplacer l'immersion par du gel et de concevoir du matériel portable de taille réduite avec différentes sondes vont permettre un essor considérable à cette technique, qui va être utilisée dans de très nombreuses spécialités. L'anesthésie ne va pas y échapper. La première utilisation en anesthésie locorégionale date de 1989, pour évaluer la diffusion de l'anesthésique local dans les blocs axillaires du plexus brachial [66]. En 1994, une première étude montre que l'échographie pour l'abord sus-claviculaire du plexus brachial permet une meilleure extension de l'anesthésie avec la même sécurité que l'abord axillaire [67]. Au début du XXI^e siècle, la faisabilité et l'énorme potentiel de l'échographie en anesthésie locorégionale est mise en évidence, tant pour les blocs des membres supérieurs que ceux des membres inférieurs ou pour le traitement des douleurs [68]. Des études comparant neurostimulation et ultrasons ne montrent pas de véritable différence entre le taux de

réussite, et les complications. Par contre, l'échographie diminue le nombre de redirections de l'aiguille, améliorant le confort du patient, réduit le temps de réalisation et d'installation de l'anesthésie, permet de mieux prendre en compte le risque d'effraction vasculaire [69–72]. Dès 2011, des recommandations américaines et européennes sont en faveur de l'échographie [73]. En 2019, la Société française d'anesthésie-réanimation limite les indications de la recherche par neurostimulation à une technique complémentaire (co-localisation) ou à une technique alternative quand l'échoguidage n'est pas possible [74]. Paradoxalement, la même année, une étude réalisée auprès de 674 « anesthésistes expérimentés » en France montre que l'échographie est très utilisée pour les blocs axillaires, inter scalènes, sciatiques poplités et fémoraux, mais plus rarement utilisé pour les blocs des nerfs profonds [75]. L'échographie a néanmoins supplanté la neurostimulation !

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

- [1] Renner C. Histoire de l'électricité médicale. *Hist Sci Med* 2007;41:353–8.
- [2] Galvani A. De viribus electricitatis in motu musculari. Bononiæ: Typographia Instituti Scientiarum; 1791 [58p].
- [3] Beard GM, Rockwell AD. A practical treatise on the medical and surgical uses of electricity. New-York: William Wood; 1871 [698p].
- [4] Kipnis N. Luigi Galvani and the debate on animal electricity, 1791–1800. *Ann Sci* 1987;44:107–42.
- [5] Bernardi W. La controverse sur l'électricité animale dans l'Italie du XVIII^e siècle : Galvani, Volta et d'autres. *Rev Hist Sci* 2001;54:53–70.
- [6] Duchenne GB. De l'électrisation localisée et de son application à la physiologie à la pathologie et à la thérapeutique. Paris: JB Baillière; 1855 [926p].
- [7] Erb W. Handbuch of elektrotherapie. Leipzig: FCW Vogel; 1882 [693p].
- [8] Lapique L. Définition expérimentale de l'excitabilité. *C R Soc Biol* 1909;2:280–3.
- [9] Lapique L, Legendre R. La rapidité fonctionnelle des fibres nerveuses mesurée par la chronaxie et son substratum anatomique. *Bull Museum Natl Hist Nat* 1914;4:248–52.
- [10] Cardot H, Laugier H. IV Localisation des excitations de fermeture dans la méthode dite unipolaire. *J Physiol Pathol Generale* 1909;11:476–85.
- [11] Köller K. Ueber die Verwendung des Cocaïn zur Anästhesierung am Auge. *Wien Med Wochenschr* 1884;43:1276–8 [44:1309–11].
- [12] Matas R. Local and regional anesthesia: a retrospect and prospect. *Am J Surg* 1934;25:189–96 [362–379].
- [13] Crile GW. An experimental and clinical research into certain problems relating to surgical operations. Philadelphia: JB Lippincott; 1901 [200p].
- [14] Hirschel G. Die Anästhesierung des Plexus brachialis bei Operationen an der oberen Extremität. *Munch Med Wochenschr* 1911;29:1555–6.
- [15] Kulenkampff D. Die Anästhesierung des Plexus Brachialis. *Zentralbl Chir* 1911;40:1337–50.
- [16] Låwen A. Ueber Leitungsanästhesie an der unteren Extremität, mit Bemerkungen über die Technik von Injektionen an

- den Nervus ischiadicus bei der Behandlung der Ischias. Dtsch Zschrif Chir 1911;111:252–68.
- [17] Goerig M. Georg Perthes-The man behind the technique of nerve-tracer technology. Reg Anesth Pain Med 2000;25:296–301.
 - [18] Perthes G. Über Leitungsanaesthesie unter Zuhilfenahme elektrischer Reizung. Munch Med Wochenschr 1912;22:2545–8.
 - [19] Braun H. Local Anaesthesia. Its scientific basis and practical uses. London: Henry Kimpton; 1924. p. 159.
 - [20] Strohl A. L'egersimetre. J Radiol Electrol 1921;5:289–96.
 - [21] Hughson W. Electrical stimulation of cutaneous nerves: a teaching method. Anat Rec 1922;23:371–4.
 - [22] Hughson W. Localization of cutaneous nerves by electrical stimulation, applied to nerve-block anaesthesia. Bull Johns Hopkins Hosp 1922;33:338–9.
 - [23] Sarnoff SJ. Functional localization of intrathecal catheters. Anesthesiology 1950;11:360–6.
 - [24] Sarnoff SJ, Sarnoff LC. Prolonged peripheral nerve block by means of indwelling plastic catheter. Treatment of hiccup. Anesthesiology 1951;12:270–5.
 - [25] Renard G. La découverte et le perfectionnement des transistors. Rev Histoire Sci Appl 1963;16:323–58.
 - [26] Christie TH, Churchill-Davidson HC. The St. Thomas's Hospital nerve stimulator in the diagnosis of prolonged apnoea. Lancet 1958;1:776.
 - [27] Churchill-Davidson HC, Christie TH. The diagnostic of neuromuscular block in man. Br J Anaesth 1959;31:290–301.
 - [28] Churchill-Davidson HC. A portable peripheral nerve stimulator. Anesthesiology 1965;26:224–6.
 - [29] Greenblatt GM, Denson JS. Needle nerve simulator-locator. Anesth Analg 1962;41:599–602.
 - [30] Tischler M, Kolodner LJ. A compact transistorized Nerve Stimulator. Bull Univ Mariland Sch Med 1962;47:64–6.
 - [31] Magora F, Rozin R, Ben-Menachem Y, Magora A. Obturator nerve block: an evaluation of technics. Br J Anaesth 1969;41:695–8.
 - [32] Chapman GM. Regional nerve block with the aid of a nerve stimulator. Anaesthesia 1972;27:185–93.
 - [33] Raj PP, Montgomery SJ, Nettles D, Jenkins MT. Infraclavicular brachial plexus block a new approach. Anesth Analg 1973;52:897–903.
 - [34] Raj PP, Parks RI, Watson TD, Jenkins MT. A new single position supine approach to sciatic femoral nerve block. Anesth Analg 1975;54:489–93.
 - [35] Smith BL. Efficacy of a nerve stimulator in regional analgesia; experience in a resident training programme. Anaesthesia 1976;31:778–82.
 - [36] Wright BD. A new use for the block-aid monitor. Anesthesiology 1969;30:236–7.
 - [37] Koons RA. The use of the bloc-aid monitor and plastic intravenous cannulas for nerve blocks. Anesthesiology 1969;31:290–1.
 - [38] Montgomery SJ, Raj PP, Nettles D, Jenkins MT. The use of nerve stimulator with standard unsheathed needles in nerve blockade. Anesth Analg 1973;52:827–31.
 - [39] Raj PP, Rosenblatt R, Montgomery SJ. Use of the nerve stimulator for peripheral blocks. Reg Anesth 1980;5:14–21.
 - [40] Pither CE, Raj PP, Ford DJ. Electrical characteristics of peripheral nerve stimulators. Implication for nerve localization. Reg Anesth 1984;9:73–7.
 - [41] Raj PP, Rosenblatt R, Montgomery SJ. The use of peripheral nerve stimulator for regional anesthesia. Reg Anesth 1985;10:49–58.
 - [42] Ford DJ, Pither C, Raj PP. Comparison of insulated and uninsulated needles for location of peripheral nerves with a peripheral nerve stimulator. Anesth Analg 1984;63:925–8.
 - [43] SFAR. Recommandations pour la pratique clinique : les blocs périphériques des membres. Ann Fr Anesth Reanim 2003;22:567–81.
 - [44] Tuominen MK, Pitkänen MT, Numminen MK, Rosenberg PH. Quality of axillary brachial plexus block. Anaesthesia 1987;42:20–2.
 - [45] Goldberg ME, Gregg C, Larijani GE, et al. A comparison of three methods of axillary approach to brachial plexus blockade for upper extremity surgery. Anesthesiology 1987;68:814–6.
 - [46] Baranowski AP, Pither CE. A comparison of three methods of axillary brachial plexus anaesthesia. Anaesthesia 1990;45:362–5.
 - [47] Martin R, Dumais R. Improving the success rate of axillary block. Anaesthesia 1987;42:1117.
 - [48] Lavoie J, Martin R, Tétrault JP, et al. Axillary plexus block using a peripheral nerve stimulator: single or multiple injections. Can J Anaesth 1992;39:583–6.
 - [49] Dupré LJ. Bloc du plexus brachial au canal huméral. Ann Fr Anesth Reanim 1992;11(Suppl):R42.
 - [50] Dupré LJ. Bloc du plexus brachial au canal huméral. Cah Anesthesiol 1994;42:767–9.
 - [51] Gaertner E, Kern O, Mahoudeau G, et al. Bloc of the brachial plexus branches by the humeral route. A prospective study in 503 ambulatory patients. Proposal of a nerve-blocking sequence. Acta Anaesthesiol Scan 1999;43: 609–13.
 - [52] Carles M, Pulcini A, Macchi P, et al. An evaluation of the brachial plexus block at the humeral canal using a neurostimulator (1417 patients): the efficacy, safety, and predictive criteria of failure. Anesth Analg 2001;92:194–8.
 - [53] Casati A, Fanelli G, Beccaria P, et al. The effect of single or multiple injections on the volume of 0,5 % ropivacaine required for femoral nerve blockade. Anesth Analg 2001 ;93:183–6.
 - [54] Serradell A, Herrero R, Villanueva JA, et al. Comparison of three different volumes of mepivacaine in axillary plexus block using multiple nerve stimulation. Br J Anaesth 2003;91:519–24.
 - [55] Guay J. Métaanalyse : intérêt du neurostimulateur dans l'amélioration du taux de succès du bloc axillaire. Ann Fr Anesth Reanim 2005;24:239–43.
 - [56] Fuzier R, Fourcade O, Fuzier V, et al. Double- vs. single-injection infraclavicular plexus block in the emergency setting: higher success rate with lower volume of local anaesthetic. Eur J Anaesthesiol 2006;23:271–5.
 - [57] 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.
 - [58] Paqueron X, Bouaziz H, Macalou D, et al. The lateral approach to the sciatic nerve at the popliteal fossa: one or two injections? Anesth Analg 1999;89:1221–5.
 - [59] Gaertner E, Estebe JP, Zamfir A, et al. Infraclavicular plexus block: multiple injection versus single injection. Reg Anesth Pain Med 2002;27:590–4.
 - [60] Perris TM, Watt JM. The road to success: a review of 1000 axillary brachial plexus blocks. Anaesthesia 2003;58:1220–34.
 - [61] Cuvillon P, Ripart J, Jeannes P, et al. Comparison of the parasacral approach and the posterior approach, with single- and double-injection techniques, to block the sciatic nerve. Anesthesiology 2003;98:1436–41.
 - [62] Rodriguez J, Barcena M, Taboada-muniz M, et al. A comparison of single versus multiple injections on the extent of anesthesia with coracoid infraclavicular brachial plexus block. Anesth Analg 2004;99:1225–30.
 - [63] Jochum D, Delaunay L. La neurostimulation, le neurostimulateur et la multistimulation raisonnée. . . . Ann Fr Anesth Reanim 2005;24:236–8.
 - [64] Howry DH, Bliss NA. Ultrasonic visualization of soft tissue structures of the body. J Lab Gun Med 1952;40:579–92.

- [65] Holmes JH, Howry DH, Posakony GJ, Cushman JJ. The ultrasonic visualization of soft tissue structure in the human body. *Am Clin Climatol Assoc* 1954;66:208–25.
- [66] Ting PL, Sivagnanaratam V. Ultrasonographic study of the spread of local anaesthetic during axillary brachial plexus block. *Br J Anaesth* 1989;63:326–9.
- [67] Kapral S, Kraff P, Eibenberger K, et al. Ultrasound-guided supraclavicular approach for regional anesthesia of the brachial plexus. *Anesth Analg* 1994;78:507–13.
- [68] Marhofer P, Greher M, Kapral S. Ultrasound guidance in regional anaesthesia. *Br J Anaesth* 2005;94:7–17.
- [69] Casati A, Danelli G, Baciarello M, et al. A prospective, randomized comparison between ultrasound and nerve stimulation guidance for multiple injection axillary brachial plexus block. *Anesthesiology* 2007;106:992–6.
- [70] Danelli G, Fanelli A, Ghisi D, et al. Ultrasound vs nerve stimulation multiple injection technique for posterior popliteal sciatic nerve block. *Anaesthesia* 2009;64:638–42.
- [71] Liu SS, Zayas VM, Gordon MA. A prospective, randomized, controlled trial comparing ultrasound versus nerve stimulator guidance for interscalene block for ambulatory shoulder surgery for postoperative neurological symptoms. *Anesth Analg* 2009;109:265–71.
- [72] Abrahams MS, Aziz MF, Fu RF, Horn JL. Ultrasound guidance compared with electrical neurostimulation for peripheral nerve block: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Br J Anaesth* 2009;102:408–17.
- [73] Sites B, Chan V, Neal J, Weller R, Grau T, Koscielniak-Nielsen J, et al. The American Society of Regional Anesthesia and Pain Medicine and the European Society of Regional Anaesthesia and Pain Therapy Joint Committee recommendations for education and training in ultrasound-guided regional anesthesia. *Reg Anesth Pain Med* 2010;35:S74–80.
- [74] Recommandations formalisées d'experts. Anesthésie loco-régionale périnerveuse. *Anesth Reanim* 2019;5:208–17.
- [75] Fuzier R, Lammens S, Becuwe L. L'utilisation de l'échographie en France : un point de vue d'anesthésiologistes régionaux expérimentés. *Acta Anaesthesiol Belg* 2016;67:9–15.