

Traitement percutané des lomboradiculalgies d'origine discale

Percutaneous Treatment of Radicular Pain Due to Lumbar Disc Disease

G Morvan, V Vuillemin, H Guerini

Imagerie de l'appareil moteur - 43, rue Cortambert - 75116 Paris.

Mots clés

- ◆ Traitement percutané
- ◆ Lomboradiculalgie
- ◆ Disque intervertébral
- ◆ Hernie discale

Keywords

- ◆ Percutaneous treatment
- ◆ Low back pain
- ◆ Radicular pain
- ◆ Lumbar disc disease

Résumé

JA Sicard à Paris en 1901 en infiltrant de la cocaïne par la voie du hiatus pour traiter les sciatgies ouvrit la voie au traitement local non chirurgical des lomboradiculalgies d'origine discale. En plus d'un siècle, de multiples découvertes : la cortisone, la hernie discale, la TDM et l'IRM, la chimionucléolyse à la chymopapaïne, la chirurgie endoscopique... ont considérablement fait évoluer de nombreux aspects de la question, tandis que d'autres continuaient à rester mystérieux. Le but de cette revue est de faire le point : où en sommes-nous en 2016 ? Quels sont les traitements percutanés qui ont acquis droit de cité ? Pour quelle indication ? Avec quels résultats ?

Abstract

In 1901, at the Society of Biology of Paris, JA Sicard opened up new horizons for a non-surgical treatment of sciatica by reporting the result of injection of cocaine in the human epidural space by the road of the sacrococcygeal hiatus. During more than a century, many major discoveries: cortisone, discal herniation, CT scan and MRI, enzyme chimionucleolysis, endoscopic spinal surgery... solved a part of the problem, while others remained somewhat mysterious. The aim of this review is to take stock: where do we stand in 2016? What are the more effective percutaneous treatments? For what indication? With what results?

Malgré d'importants progrès diagnostiques et thérapeutiques, tout est loin d'être clair en matière de lomboradiculalgies, l'un des principaux problèmes de santé publique de notre époque. Leur physiopathologie précise reste mal connue, qui mêle facteurs mécaniques et biochimiques, ces derniers expliquant l'action des drogues anti-inflammatoires (1,2).

Quelques faits solides se dégagent néanmoins : leur grande majorité guérit en quelques jours ou semaines, spontanément ou avec un traitement simple, y compris infiltratif. Entre la traditionnelle discectomie chirurgicale à ciel ouvert, efficace, mais parfois grevée de lombalgies et de complications graves, et les traitements classiques tendent à s'immiscer des gestes moins invasifs, endoscopiques ou interventionnels : différentes injections de dérivés cortisonés ou d'autres produits au voisinage du disque ou en son sein (nucléolyse) ; des gestes mécaniques ou thermiques sur le disque (nucléotomie) ; différentes actions sur la périphérie ou l'environnement de celui-ci.

Les injections au voisinage du disque (« infiltrations »)

Historique

C'est à Paris, à la Société de Biologie, que JA Sicard rapporta pour la première fois en 1901 le résultat d'injections de co-

caïne par le hiatus sacro-coccygien chez l'Homme, avec de bons résultats temporaires chez quatre patients souffrant de lumbago et de sciatique rebelle (3). Ce neurologue qui, vingt ans plus tard, eut également l'idée avec J Forestier d'injecter du Lipiodol® dans l'espace épidual (et intrathécal) pour réaliser des épidualographies opaques (4) est donc à double titre le véritable inventeur des infiltrations radioguidées. Une semaine plus tard à la même tribune parisienne un urologue, F Cathelin, indépendamment de JA Sicard, publiait la même technique (5).

Si ces années 1920 virent également la découverte de la cortisone à la Mayo Clinic, il fallut attendre 1934 pour que Mixter et Barr (6) décrivent la hernie discale et les années 1950 pour que soit connue l'hydrocortisone. Deux italiens de Turin, P Robecchi et AL Capra, qui pensaient que la sciatgie était d'origine inflammatoire (question non encore résolue à ce jour...) eurent les premiers, en 1952, l'idée d'injecter ce dérivé cortisoné qui venait d'être découvert dans l'espace épidual pour traiter, avec succès, une sciatgie (7). L'école de rhumatologie parisienne (8) leur emboîta rapidement le pas.

Dès l'origine, les auteurs se posèrent deux questions : Existe-t-il à côté des facteurs mécaniques, des médiateurs de l'inflammation dans la genèse des radiculalgies et, si oui, quel rôle jouent ces médiateurs ? Existe-t-il des critères objectifs permettant de prévoir le résultat des infiltrations épiduals ? Six décennies plus tard, la réponse précise à ces questions n'est toujours pas connue (9).

Correspondance :

*Gérard Morvan, Imagerie médicale Léonard de Vinci
Centre Cortambert - 43, rue Cortambert - 75116 Paris.
Tel : 01 45 24 61 35 - E-mail : gerard.morvan@yahoo.fr*

Produits injectés

Les dérivés cortisonés

Ils sont utilisés depuis des décennies. En France, jusqu'à 2015, deux produits étaient couramment employés : l'acétate de prednisolone (Hydrocortancyl®) en suspension à 2,5 % (spécificité française) et le cortivazol (Altim®) en suspension à 3,75mg/1,5ml. Des accidents très sévères voire létaux bien qu'exceptionnels ayant été rapportés à la suite d'infiltrations cervicales et lombaires (10), ces produits ont fait l'objet d'études expérimentales approfondies. Elles ont souligné la forte tendance de la prednisolone en présence de sérum à la coalescence en macro-agrégat (11). Une étude très récente sur modèle murin a bien démontré l'occlusion immédiate, complète et massive de la microcirculation qu'occasionne le passage intravasculaire de ces agrégats, ainsi qu'une modification de surface des hématies qui prennent un aspect spiculé (12). Ces données nouvelles ont conduit, en avril 2014, la Food and Drug Administration (FDA) des USA à émettre un avertissement sur les dangers potentiels des injections épidurales de corticostéroïdes (13) et, en août 2015, la Haute Autorité de Santé (HAS) française à retirer l'autorisation de mise sur le marché (AMM) à l'acétate de prednisolone pour les injections épidurales (14). Le cortivazol est donc à l'heure actuelle le seul dérivé cortisoné en suspension disponible en France pour ces injections. Les dérivés cortisonés en solution ne sont pas employés en France, à ma connaissance, pour ce type d'injection. Ils peuvent l'être dans d'autres pays (15).

Autres produits

Des anesthésiques locaux sont parfois utilisés seuls, avec un effet modeste (16). Ils sont le plus souvent mélangés aux corticoïdes dans les séries de la littérature (16). Lors des infiltrations radio - ou scannoguidées, un produit de contraste non-ionique non neurotoxique est en général injecté avant le produit thérapeutique afin de confirmer le caractère épidural de l'injection. A ma connaissance, ces produits de contraste n'ont pas d'action thérapeutique connue. Un cas exceptionnel de choc anaphylactique a été rapporté avec l'iohexol par voie épidurale (Omnipaque®) (17). Du sérum autologue conditionné contenant des cytokines anti-inflammatoires a pu être injecté en épidural dans de petites séries d'une vingtaine de patients (18,19) et du sérum enrichi en plaquettes (PRP) injecté en intradiscal chez quelques patients (20).

Voies d'abord

Trois principales voies d'abord sont utilisées : la voie du hiatus sacré, la voie foraminale et la voie interlaminaire (21). Sicard l'utilisa lors de sa description princeps (3) : des saillies osseuses faciles à palper permettaient de réaliser l'injection sur la base de repères cliniques. Cette voie d'abord où seulement une partie du principe actif parvient jusqu'au canal vertébral, le reste se perdant dans les trous sacrés, est moins utilisée de nos jours. Quand elle est réalisée sous guidage scopique, elle nécessite une injection préalable de produit de contraste car la région est riche en vaisseaux et le risque d'injection intravasculaire réel. La voie interlaminaire fut également longtemps utilisée sans guidage. Cependant, une étude a montré que, même entre des mains très expérimentées, dans 30 % des cas l'injection était hors-site : intramusculaire, intrathécale, sous-durale, intravasculaire (22,23). Actuellement le guidage est scopique (Fig 1) ou TDM (1) et implique une injection de produit de contraste non ionique afin de s'assurer de la position correcte de l'aiguille. Une voie interlaminaire latéralisée semble supérieure à un abord strictement médian pour que le produit injecté gagne la partie ventrale du canal spinal (24). Le pro-

duit de contraste injecté dans la partie la plus latérale de l'espace épidural, près de l'orifice médial du foramen, fuse vers celui-ci où il pénètre volontiers, monte et descend vers les étages voisins, mais franchit rarement la ligne médiane d'où l'importance d'une injection homolatérale à la radiculalgie. Les risques de cette voie sont faibles, mais d'exceptionnels accidents neurologiques graves ont été rapportés, notamment chez les patients opérés (10,25).

La voie foraminale est prônée pour les radiculalgies secondaires à une sténose arthrosique du foramen ou à une hernie intra ou extraforaminale, mais parfois également pour le traitement de pathologies intracanalaires. Elle peut être réalisée sous guidage scopique ou TDM (1). Chun (15) estime qu'à dose de cortisone constante, l'injection d'une certaine quantité de liquide est plus efficace. De nombreux effets secondaires bénins (picotements, faiblesse des membres inférieurs, prurit périnéal, céphalées, insomnie, hoquet...) ont été décrits à la suite d'injection foraminale de dérivés cortisonés hydrosolubles (non utilisés à cet usage en France) (26). En 2009, dix cas de paraplégie ont été rapportés à la suite d'infiltration utilisant cette voie (10), y compris chez des patients non opérés. Tous les cas français avaient reçu de l'acétate de prednisolone. Cette voie est donc considérée actuellement comme à risque et déconseillée chez les patients opérés

Résultats

Malgré l'ancienneté des infiltrations, leurs résultats demeurent controversés (1). De nombreuses revues et méta-analyses ont évalué l'efficacité des produits injectés en épidural, notamment les dérivés cortisonés.

Benjamin et al (16) dans une méta-analyse très sélective de 26 essais très sélectionnés dont 15 randomisés qui étudiaient les effets d'injections épidurales interlamaires radioguidées de dérivés cortisoniques et/ou anesthésiques, ont conclu en une certaine efficacité de la cortisone sur les radiculalgies secondaires à une hernie discale, alors que les anesthésiques seuls avaient une faible efficacité. Les injections, cortisonées ou non, étaient de faible efficacité sur les lombalgies sans hernie discale et sur les radiculalgies d'origine arthrosique.

Kaye et al (27) dans une grande revue systématique de 52 essais randomisés d'injections épidurales de dérivés cortisoniques et d'anesthésiques locaux a mis en évidence une efficacité de niveau II à III dans un ensemble de conditions pathologiques lombaires et cervicales. Manchikanti et al (21), comme Zhai (28), toujours dans d'importantes revues de séries, ont démontré une efficacité des injections épidurales à court terme dans le traitement de la radiculalgie discale. Cette action était moins franche à long terme.

Il ressort de ces travaux, souvent réalisés par les mêmes équipes, une relative efficacité des injections épidurales de dérivés corticoïdes, au moins à court terme, principalement dans les radiculalgies d'origine discale, leur mode d'action demeurant encore mystérieux. Les anesthésiques locaux seuls semblent nettement moins efficaces.

Quant aux dérivés sanguins, les séries sont trop courtes pour permettre de juger de leur potentiel, bien que les premiers résultats paraissent intéressants.

Synthèse

Quel produit ? Actuellement, en France pour la voie épidurale un seul : le cortivazole. Quelle voie ? La voie du hiatus - en perte de vitesse - la voie foraminale, qui comporte un certain risque, et surtout la voie interlaminaire latéralisée. Quel guidage ? Scopie ou TDM. Quelle indication ? Lomboradiculalgie d'origine herniaire ou arthrosique, sténose canalair, lombalgie. Quels résultats ? Au moins à court terme, l'injection épidurale cortisonée est supérieure au placebo dans la lomboradiculalgie d'origine discale. Quels risques ? Quelques troubles

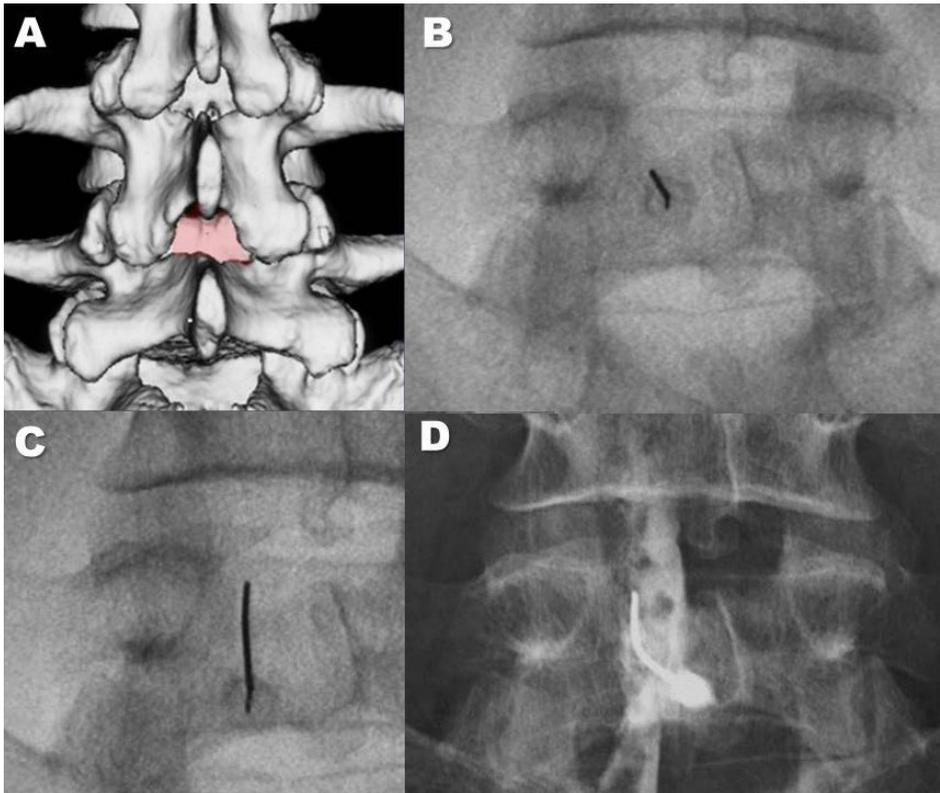


Figure 1. Injection épidurale interlaminar latéralisée radioguidée.

A : espace interlaminar ;
B : aiguille contre la lame ;
C : aiguille dans l'espace épidual ;
D : injection-test de produit de contraste

mineurs, mais surtout quelques exceptionnelles paraplégies en majeure partie dues à l'acétate de prednisolone, abandonné actuellement au niveau rachidien.

Les gestes sur le disque

Actions mécaniques

Le but de ces procédures est d'enlever ou de détruire une partie du nucléus (nucléotomie) de façon à faire baisser la pression dans le disque et par conséquent au sein d'une éventuelle hernie non exclue.

Hijikata fut, à notre connaissance, le premier à tenter une discectomie percutanée en 1975 (29). D'autres publications ont suivi qui utilisaient des techniques voisines : canules d'assez gros diamètre et pinces pour extraire le matériel discal, avec de bons résultats globaux, au prix de quelques complications liées à la méthode : discites, plaies vasculaires...

En 1985, Onik conçut un nouveau matériel moins agressif, le nucléotome automatisé, sorte d'aiguille à guillotine latérale par laquelle un lavage aspiratif permettait l'extraction de fragments de nucléus (30). Ce dispositif, commode d'usage, remporta un vif succès immédiat et fut largement diffusé, avant d'être abandonné devant l'insuffisance des résultats objectifs. Une étude randomisée multicentrique française conclut en 1991 en l'absence de supériorité de ce dispositif par rapport à la chilonucléolyse (31)

D'autres techniques basées sur des principes un peu différents : vis sans fin tournant à grande vitesse et ramenant des fragments de disque (DeKompressor®) ont suivi avec des résultats voisins : niveau d'efficacité III (32).

En 2013, Amoretti et al (33) ont utilisé un matériel différent, le Herniatome, fine canule introduite sous guidage à la fois TDM et scopique dans le disque, au plus près du conflit avec la racine. Ils ont constaté une chute importante de la radiculalgie à 48h qui se maintenait à 6 mois, surtout dans les hernies latéralisées, sans incident notable à déplorer.

Une revue systématique des différentes séries de nucléotomies percutanées mécaniques (34) a montré que la preuve de l'efficacité des différentes méthodes publiées dans le cadre des radiculalgies par hernie discale non exclue, restait modérée, ne dépassant pas un niveau II-3 dans l'échelle de l'United States Preventive Services Task Force (USPSTF) qui comporte 5 niveaux de I à III avec 3 sous-catégories dans le niveau II, sans complications notables et avec une faible morbidité.

Il n'y avait pas de preuve convaincante d'efficacité pour la lombalgie.

Une étude randomisée portant sur un nombre limité de patient sciatalgiques a conclu en la supériorité de la décompression percutanée du disque sur le traitement conservateur à 12 et 24 mois (35).

Expérimentalement chez le rat une simple ponction avec injection de sérum physiologique peut entraîner des modifications au sein du disque (36), ce qui implique une certaine prudence dans l'interprétation des résultats ...

On peut donc conclure qu'à l'heure actuelle, dans les radiculalgies secondaires à une hernie non exclue, rebelles aux traitements médicaux et infiltratifs, les différentes méthodes de nucléotomies percutanées mécaniques sont susceptibles d'apporter un soulagement au moins sur la composante radiculaire de la douleur, au prix d'une morbidité mineure et, qu'à ce titre, elles méritent d'être essayées avant d'avoir recours à une discectomie chirurgicale.

Actions chimiques

La nucléolyse à la chymopapaïne

Elle fut, dès 1963, la première méthode de traitement non chirurgical de la hernie discale (37). Cette technique de nucléolyse enzymatique obtenait régulièrement des résultats excellents sur la radiculalgie, moins bons sur la lombalgie. D'exceptionnelles réactions anaphylactiques sévères et de rares lésions neurologiques graves par passage sous-arachnoïdien de l'enzyme extraite de la papaye ont été décrites. La commercialisation du produit a été arrêtée en 2002

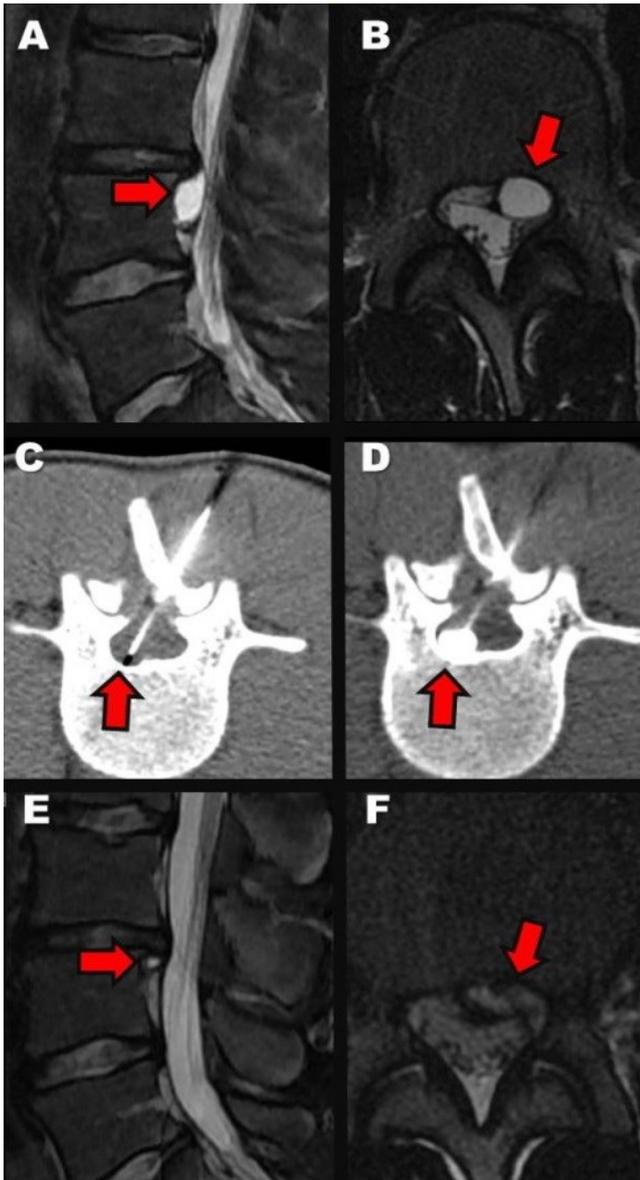


Figure 2. Jeune homme de 18 ans. Cruralgie gauche rebelle aux traitements.
 A, B : IRM sagittale et axiale T2 : Discopathie L2-L3 et L3-L4. Kyste épidual L3-L4 antérieur gauche liquidien (flèche), immédiatement adjacent au disque, comprimant la racine L4G ;
 C : Abord sous guidage TDM par une aiguille fine coaxiale introduite par voie transdurale ;
 D : Aspiration et opacification du kyste. Injection intrakystique de 0,2 ml de cortivazole ;
 E, F : 6 mois après kyste considérablement diminué de volume. Patient asymptomatique.

et, depuis, de nombreux produits alternatifs ont été utilisés : dérivés cortisoniques, simvastatin, glycérol, phénol-glycérine, bupivacaïne, sérum salé hypertonique, acide osmique... avec des fortunes diverses. Trois produits émergent du lot : les dérivés cortisonés, l'alcool, et l'oxygène/ozone.

Dérivés cortisonés

Dans le cadre du traitement des lombalgies rebelles chez des patients porteurs d'une discopathie avec œdème des plateaux vertébraux adjacents (signe de Modic de type 1) certaines équipes (parisiennes en particulier) ont réalisé des injections intra-discales de 25 mg d'acétate de prednisolone avec de bons résultats sur la lombalgie, au moins à court terme (38). Cette pratique n'eut jamais de diffusion large.

Alcool

Theron et al. lors d'injections intradiscales d'alcool à 95° ont rapporté des cas de radiculites (39) par fuite extradiscale d'alcool, qui a conduit cette équipe à proposer un gel d'éthylcellulose contenant de l'alcool à 95 % et une suspension de tungstène radio-opaque (Discogel®) (39). Ce produit mixte entrainerait une nécrose et une déshydratation du nucléus. D'autres auteurs (40) ont fait précéder l'injection de Discogel d'une discographie gazeuse afin d'éliminer les disques incontinents et de limiter ainsi le risque de fuite extradiscale. Le taux de guérison obtenu de la méthode était de 61 % lors d'un suivi prolongé, soit du même ordre de grandeur que les autres techniques.

Oxygène/ozone

L'ozone fut injecté en intradiscale pour la première fois dans les années 2000 (41). H3, obtenu extemporanément à partir de H2, redevient après 45 mn de demi-vie, de l'hydrogène (42). Ce puissant oxydant, en clivant les molécules de protéoglycanes du nucléus altère leur pouvoir hydrophile. Il entraîne donc une baisse de la turgescence discale, donc de la pression intra-discale, par le biais d'une déshydratation (43,44). Les résultats d'une étude portant sur 159 patients qui comparait l'injection d'un mélange ozone/dérivé corticoïde/anesthésique local au même mélange sans ozone à la fois en intradiscale et intraforaminale par voie postérolatérale sous guidage CT ont été publiés par Galucci en 2007 (45). Il n'y avait pas de différence à 2 semaines ni à 3 mois entre les deux groupes, mais à 6 mois les résultats étaient meilleurs dans le groupe avec ozone, ce qui compte tenu de l'évolution naturelle de ce type de pathologies n'est guère probant. Vanni et al. ont rapporté l'existence d'adhérences entre la racine et vertèbre, compliquant le geste chirurgical, après injection intra-foraminale d'ozone (46). Quoique découverte il y a plus de 15 ans l'injection d'ozone reste peu utilisée en dehors de l'Italie.

Des agents destinés à régénérer le nucléus

Ceux-ci [copolymère d'acides aminés extraits de la soie/élastine (NuCore®TM Injectable Nucleus)] ont été injectés en intradiscale, après discectomie, dans le but de restaurer l'architecture discale et de prévenir les inconvénients liés à la diminution de hauteur de l'espace intersomatique, source de lombalgies, une des causes classiques des échecs chirurgicaux (48). Les petits effectifs des séries publiées (48) ne permettent pas de se faire une idée nette de l'intérêt de la méthode. Il en est de même des cellules souches (50,51).

Actions thermiques

Les nucléotomies au laser ou à l'aide d'une sonde de thermofréquence combinent une action mécanique, une destruction thermique du nucléus et, à un certain degré, une destruction des terminaisons nerveuses de l'annulus.

La nucléotomie au Laser

Décrite par Choy en 1987 (52) a pour principe de vaporiser une partie du nucléus à l'aide d'un faisceau laser introduit dans le disque via une fibre optique. À cause de la haute température atteinte, le risque de brûlure des plateaux et des nerfs adjacents est réel. 1200 à 2000 J sont délivrés en fonction de la morphologie du disque à traiter (1). Le succès sur la radiculalgie va de 70 à 90 % (53).

La nucléotomie par radiofréquence

Elle repose sur la technique de Coblation® (ArthroCare, Austin, Texas, USA) : une électrode bipolaire introduite au sein

du disque ionise les atomes de sodium du nucléus, qui doit avoir un degré d'hydratation suffisant. Ceci engendre un plasma qui désintègre les liens intramoléculaires du nucléus, donc altère sa capacité hydrophile. Les indications, contre-indications et résultats sont globalement les mêmes que pour la nucléotomie laser. Cette technique est plus rapide que la précédente (quelques minutes). La température atteinte étant plus basse qu'avec le laser, le risque de lésions potentielles des plateaux est moins important (1).

Synthèse

La multiplicité des gestes discaux potentiels illustre par elle-même la difficulté à trouver une alternative fiable à la discectomie chirurgicale, surtout mini-invasive. Les actions mécaniques sur le disque possèdent un effet démontré sur la radiculalgie, au moins à court terme, avec un taux de complications très faible. Les actions chimiques n'emportent guère la conviction. Quant aux actions thermiques, plus délicates et potentiellement plus risquées, elles ont, à l'heure actuelle, une assez faible diffusion.

Les gestes sur la périphérie du disque

Kystes paradiscaux gazeux

Des collections épidermiques aériques (pneumatocèles) développées aux dépens de fissures annulaires d'un disque dégénératif en général porteur d'un épanchement gazeux, qui compriment une racine, ont été décrites et traitées avec succès par voie percutanée : ponctions sous guidage TDM permettant l'évacuation du contenu et l'injection in situ d'un dérivé cortisoné (54).

Kystes paradiscaux liquidiens

Les rares kystes liquidiens développés aux dépens de l'annulus symptomatiques par compression radiculaire, qui se rencontrent en général dans une population plus jeune que les précédents (55), peuvent être traités par endoscopie (56). Ils peuvent également bénéficier avec succès d'une ponction/évacuation/infiltration sous guidage TDM (56) (Fig 2).

Cofacteurs de compression radiculaires

Des kystes zygapophysaires qui compriment la racine en association avec une saillie discale constituent une éventualité fréquente. Ils peuvent bénéficier d'une injection intra-articulaire et/ou intrakystique et/ou épidermique de dérivé cortisoné, avec une bonne efficacité au moins temporaire.

Les gestes sur l'environnement du disque

Une compression radiculaire d'origine discale, associée à une sténose canalaire acquise ou dégénérative constitue une autre éventualité fréquente. Les injections épidermiques de dérivés cortisonés y sont régulièrement efficaces, même si le niveau de preuve reste modéré (II à III) (57). Cette opportunité est particulièrement appréciable chez les personnes âgées.

Conclusion

La manière de traiter les lomboradiculalgies d'origine discale est en pleine mutation. La discectomie à ciel ouvert classique, efficace, mais dont les inconvénients sont bien connus : complications non spécifiques, fibrose épidermique, lombalgies

résiduelles... tend progressivement à céder la place à deux alternatives, convergentes : les actes chirurgicaux « mini-invasifs » ou endoscopiques et les actes percutanés interventionnels. Parmi ceux-ci, les infiltrations de dérivés cortisonés et les gestes mécaniques sur le disque sont les plus pratiqués, bien que le niveau de preuve de leur efficacité reste modéré.

Références

- Buy X, Gangi A. Percutaneous treatment of intervertebral disc herniation. *Semin Intervent Radiol* 2010;27:148-15.
- Peng BG. Pathophysiology, diagnosis, and treatment of discogenic low back pain. *World J Orthop* 2013;4:42-52.
- Sicard JA. Les injections médicamenteuses extradurales par voie sacrococcygienne. *C R Séances Société Biologie* 1901;53:396.
- Sicard JA, Forestier J. Méthode radiographique d'exploration de la cavité épidermique par le Lipiodol. *Rev Neurol* 1921; 2:1264.
- Cathelin F. Une nouvelle voie d'injection rachidienne : méthode des injections épidermiques par le procédé du canal sacré - Applications à l'homme. *CR Séances Société Biologie* 1901;53:452-3.
- Mixter WJ, Barr JS. Rupture of the intervertebral disc with involvement of the spinal canal. *N Engl J Med* 1934;211:210-5.
- Robecchi P, Capra AL. L'hydrocortisone (composto F), prime esperienza clinica in campo reumatologico. *Minerva Med* 1952;2:1259-63.
- Lièvre JA, Bloch-Michel H, Pean G et al. L'hydrocortisone en injection locale. *Rev Rhum Mal Osteoartic* 1953;20:310-1.
- Ter Meulen BC, Weinstein H, Ostelo R, Koehler PJ. The epidural treatment of sciatica: its origin and evolution. *Eur Neurol* 2016;75:58-64.
- Wybier M, Gaudart S, Petrover D, Houdart E, Laredo JD. Paraplegia complicating selective steroid injections of the lumbar spine. Report of five cases and review of the literature. *Eur Radiol* 2010;20:181-9.
- Wahezi SE, Lederman A, Algra J, Kim SY, Sellers R. Human serum modifies aggregation properties of commonly used epidural steroids. *Pain Physician* 2015;18:E1131-8.
- Laemmel E, Segal N, Mirshani M et al. Deleterious effects of intra-arterial administration of particulate steroids on microvascular perfusion in a mouse model. *Radiology* 2016;279:731-40.
- FDA Drug Safety Communication: FDA requires label changes to warn of rare but serious neurologic problems after epidural corticosteroid injections for pain. March 2014. www.fda.gov/Drugs/DrugSafety/ucm394280.htm
- Journal Officiel de la république française du 4 aout 2015. Arrêté du 29 juillet 2015 modifiant la liste des spécialités pharmaceutiques de la liste mentionnée au premier alinéa de l'article L. 162-17 du code de la sécurité sociale.
- Chun EH, Hahck SP. Effect of high-volume injectate in lumbar transforaminal epidural steroid injections: a randomized, active control trial. *Pain Physician* 2015;18:519-25.
- Benjamin RM, Manchikanti L, Parr AT et al. The effectiveness of lumbar interlaminar epidural injections in managing chronic low back and lower extremity pain. *Pain Physician* 2012;15:E363-E404.
- Lee SH, Park JW, Hwang BM. Anaphylactic Shock Following Nonionic Contrast Medium during Caudal Epidural Injection. *Korean J Pain* 2015;28:280-3.
- Becker C, Heidersdorf S, Drewlo S, de Rodriguez SZ, Kramer J, Willburger RE. Efficacy of epidural peri-neural injections with autologous conditioned serum for lumbar radicular compression: an investigator-initiated, prospective, double-blind, reference-controlled study. *Spine* 2007;32:1803-8.
- Ravi Kumar HS, Vijay GG, Batra YK. Autologous conditioned serum as a novel alternative option in the treatment of unilateral lumbar radiculopathy: a prospective study. *Asian Spine J.* 2015;9:916-22.
- Tuakli-Wosornu YA, Terry A, Boachie-Adjei K et al. Lumbar intradiscal platelet-rich plasma (PRP) injections: a prospective, double-blind, randomized controlled study. *PM R.* 2016;8:1-10.
- Manchikanti L, Benjamin RM, Falco FJ, Kaye AD, Hirsch JA. Do epidural injections provide short- and long-term relief for lumbar disc herniation? A systematic review. *Clin Orthop Relat Res* 2015;473:1940-56.
- White AH, Derby R, Wynne G. Epidural injections for the diagnosis and treatment of low-back pain. *Spine* 1980;5:67-86.
- White AH. Injection techniques for the diagnosis and treatment of low back pain. *Orthop Clin North Am* 1983;14:553-67.
- Hashemi M, Mofrad MK, Mohajerani SA, Kazemi SM, Radpey B, Zali A. Anatomical flow pattern of contrast in lumbar epidural space: a

- human study with a midline vs. parasagittal interlaminar approach under fluoroscopy. *Pain Physician* 2015;18:317-24.
25. Huntoon MA, Martin DP. Paralysis after transforaminal epidural injection and previous spinal surgery. *Reg Anesth Pain Med* 2004;29:494-5.
 26. El Abd OH, Amadera J, Pimentel D, Gomba L. Immediate and Acute Adverse Effects Following Transforaminal Epidural Steroid Injections with Dexamethasone. *Pain Physician* 2015;18:277-86.
 27. Kaye AD, Manchikanti L, Abdi S. Efficacy of epidural injections in managing chronic spinal pain: a best evidence synthesis. *Pain Physician* 2015;18:E939-E1004.
 28. Zhai J, Zhang L, Li M et al. Epidural injection with or without steroid in managing chronic low back and lower extremity pain: a meta-analysis of ten randomized controlled trials. *Int J Clin Exp Med* 2015;8:8304-16.
 29. Hijikata S, Yamagishi M, Nakayama T, et al. Percutaneous discectomy: a new treatment method for lumbar disk herniation. *J Todén Hosp* 1975;5:5-13.
 30. Onik GM, Helms CA, Ginsburg L, Hoaglund FT, Moms J. Percutaneous lumbar discectomy using a new aspiration probe. *AJNR* 1985;6:290-3.
 31. Revel M, Payan C, Vallee C et al. Automated percutaneous lumbar discectomy versus chemonucleolysis in the treatment of sciatica. A randomized multicenter trial. *Spine*. 1993;18:1-7.
 32. Singh V, Benyamin RM, Datta S, Falco FJ, Helm S2, Manchikanti L. Systematic review of percutaneous lumbar mechanical disc decompression utilizing Dekompressor. *Pain Physician*. 2009;12:589-99.
 33. Amoretti N, Huwart L, Marcy PY, Foti P, Hauger O, Boileau P. CT- and fluoroscopy-guided percutaneous discectomy for lumbar radiculopathy related to disc herniation: a comparative prospective study comparing lateral to medial herniated discs. *Skeletal Radiol*. 2013;42:49-53.
 34. Manchikanti L, Derby R, Benyamin RM, Helm S, Hirsch JA. A systematic review of mechanical lumbar disc decompression with nucleoplasty. *Pain Physician* 2009;12:561-72.
 35. Erginousakis D, Filippiadis DK, Malagari A, Kostakos A, Brountzos E et al. Comparative prospective randomized study comparing conservative treatment and percutaneous disk decompression for treatment of intervertebral disk herniation. *Radiology* 2011;260 :487-93.
 36. Issy AC, Castania V, Silveira JW et al. Does a small size needle puncture cause intervertebral disc changes? *Acta Cirúrgica Brasileira*. 2015;30:574-9.
 37. Smith L, Garvin PJ, Gesler RM, Jennings RB. Enzyme dissolution of the nucleus pulposus. *Nature* 1963;198:1311-2.
 38. Fayad F, Lefevre-Colau MM, Rannou F et al. Relation of inflammatory Modic changes to intradiscal steroid injection outcome in chronic low back pain. *Eur Spine J* 2007;16:925-31.
 39. Theron J, Guimaraens L, Casasco A, Sola T, Cuellar H, Courtheoux P. Percutaneous treatment of lumbar intervertebral disk hernias with radiopaque gelified ethanol: a preliminary study. *J Spinal Disord Tech* 2007;20:526-32.
 40. De Sèze M, Saliba L, Mazaux JM. Percutaneous treatment of sciatica caused by a herniated disc: an exploratory study on the use of gaseous discography and Discogel in 79 patients. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine* 2013;56:143-54.
 41. Muto M, Avella F. Percutaneous treatment of herniated lumbar disc by intradiscal oxygen-ozone injection. *Intervent Neuroradiol* 1998;4:279-86.
 42. Buric J, Rigobello L, Hooper D. Five and ten year follow-up on intradiscal ozone injection for disc herniation. *Drug design, development and therapy*. 2015;9:2677-85.
 43. Soltés L, Mendichi R, Kogan G, Schiller J, Stankovska M, Arnhold J. Degradative action of reactive oxygen species on hyaluronan. *Biomacromolecules* 2006;7:659-68.
 44. Lenhert T, Naguib NN, Wutzler S, Nour-Eldin NE, Bauer RW, Kerl JM, et al. Analysis of disk volume before and after CT-guided intradiscal and periganglionic ozone-oxygen injection for the treatment of lumbar disc herniation. *J Vasc Interv Radiol* 2012;23:1430-6.
 45. Gallucci M, Limbucci N, Zugaro L, Barile A, Stavroulis E, Ricci A, et al. Sciatica: treatment with intradiscal and intraforaminal injections of steroid and oxygen-ozone versus steroid only. *Radio-logy* 2007;242:907-13.
 46. Vanni D, Galzio R, Kazakova A, Pantalone A, Sparvieri A et al. Intraforaminal ozone therapy and particular side effects: preliminary results and early warning. *Acta Neurochir (Wien)*. 2016;158:491-6.
 47. Carragee EJ, Spinnickie AO, Alamin TF, Paragioudakis S. A prospective controlled study of limited versus subtotal posterior discectomy: short-term outcomes in patients with herniated lumbar intervertebral discs and large posterior annular defect. *Spine* 2006;31:653-7.
 48. Boyd LM, Carter AJ. Injectable biomaterials and vertebral endplate treatment for repair and regeneration of the intervertebral disc. *Eur Spine J* 2006;15 (Suppl. 3):S414-21.
 49. Berlemann U, Schwarzenbach O. An injectable nucleus replacement as an adjunct to microdiscectomy: 2 year follow-up in a pilot clinical study. *Eur Spine J* 2009;18:1706-12.
 50. Clouet Y, Hamel O, Colombier P, Guicheux J, Lescaudron L. La médecine régénératrice du disque intervertébral : panacée ou illusion ? *Rev Rhum monographies*. 2013;80:260-5.
 51. Richardson SM, Kalamegam G, Pushparaj PN et al. Mesenchymal stem cells in regenerative medicine: Focus on articular cartilage and intervertebral disc regeneration. *Methods* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ymeth.2015.09.015>
 52. Choy DS, Case RB, Fielding W, Hughes J, Liebler W, Ascher P. Percutaneous laser nucleolysis of lumbar disks. *N Engl J Med* 1987;317:771-2.
 53. Gangi A, Basile A, Basille A, et al. Radiofrequency and laser ablation of spinal lesions. *Semin Ultrasound CT MR* 2005;26:89-97.
 54. Rajhi H, Morvan G, Hmaied E, Heissler P. Traitement percutané d'un pseudo-kyste gazeux épidual : cause rare de sciatique. *J Radiol* 2005;86:164-6.
 55. Aydin S, Abuzayed B, Yildirim H, Bozkus H, Vural M. Discal cysts of the lumbar spine: report of five cases and review of the literature. *Eur Spine J* 2010;19:1621-6.
 56. Ha SW, Ju CI, Kim SW, Lee SM, Kim YH, Kim HS. Clinical outcomes of percutaneous endoscopic surgery for lumbar discal cyst. *J Korean Neurosurg Soc* 2012;51:208-14.
 57. Manchikanti L, Kaye AD, Manchikanti K, Boswell M, Pampati V, Hirsch J. Efficacy of epidural injections in the treatment of lumbar central spinal stenosis: a systematic review. *Anesth Pain Med*. 2015;5: e23139.