Ann Fr Anesth Réanim 1997;16:985-1029
© Elsevier, Paris

Article spécial

Anesthésie locorégionale chez l'enfant

Conférence d'experts (Congrès Sfar 1997)

I Murat

Service d'anesthésie-réanimation, hôpital d'enfants Armand-Trousseau, 26, avenue du Dr Arnold-Netter, 75571 Paris cedex 12, France

Liste des experts :
B Bruguerolle (Marseille), J Camboulives (Marseille), I Constant (Paris), B Dalens (Clermont-Ferrand), AM Dubousset (Bicêtre), M Dubreuil (Bordeaux), C Écoffey (Rennes), JJ Eledjam (Nîmes), E Giaufré (Marseille), J Hamza (Paris), C Lejus (Nantes), MN Mayer (Paris), X Mazoit (Bicêtre), K Samii (Bicêtre), O Paut (Marseille), F Veyckemans (Bruxelles)

QUESTION N° 1 ANESTHÉSIE LOCORÉGIONALE ET ANESTHÉSIE GÉNÉRALE : POURQUOI ASSOCIER LES DEUX TECHNIQUES EN PÉDIATRIE ?

Anesthésie locorégionale et chirurgie pédiatrique

L'anesthésie locorégionale (ALR) est devenue une technique largement utilisée en anesthésie pédiatrique en raison de la qualité de l'analgésie qu'elle procure pendant l'intervention et en phase postopératoire. Cet essor est secondaire à la prise de conscience de l'importance de l'analgésie per- et postopératoire, mais aussi au développement de matériels et de techniques appropriés à l'âge de l'enfant [1-7]. L'utilisation de l'ALR permet de diminuer les besoins en agents anesthésiques peropératoires et en antalgiques postopératoires (morphiniques et non morphiniques). Elle représente ainsi un atout majeur d'une part, pour la chirurgie du nouveau-né ou du nourrisson, chez qui les indications de la ventilation contrôlée postopératoire sont ainsi diminuées, et d'autre part en chirurgie ambulatoire où la reprise d'une activité normale est plus précoce. Dans l'ensemble, le pourcentage d'anesthésies pédiatriques comportant une technique d'ALR par rapport au nombre total d'anesthésies pédiatriques est passé de 23,4 % en 1992 à 28,6 % en 1994, soit une augmentation de 24 %, dans l'enquête de l'ADARPEF [1]. Cette augmentation est le reflet de la place majeure de l'ALR comme technique d'analgésie.

Paradoxe pédiatrique

Il existe de fait, un « paradoxe pédiatrique » en matière d'ALR puisque sa réalisation chez l'enfant s'effectue le plus souvent en complément d'une AG et après l'induction de celle-ci. Dans la réflexion qui conduit à la pratique d'une ALR chez l'enfant, la comparaison avec l'AG seule entre rarement en compte. En effet, ALR et AG sont complémentaires l'une de l'autre pour assurer une prise en charge optimale du stress chirurgical tant en termes de réponse physiologique à l'agression tissulaire qu'en termes de réponse psychologique à une situation anxiogène. Cette attitude est confortée par la majorité des traités d'anesthésie pédiatrique [8-14]. Elle est aussi confirmée dans la pratique par l'abondance d'articles et de revues traitant du sujet, où la plupart des anesthésies locorégionales sont réalisées sous AG [2, 3, 15-22]. En France, en 1994, seulement 5 % des ALR ont été réalisées chez l'enfant sans AG ni sédation associée [1]. Ces chiffres récents corroborent ceux d'études plus anciennes où en général moins de 10 % des blocs de conduction sont réalisés sans AG [23, 24].

Il pourrait paraître intéressant de comparer les risques de chacune des techniques prises séparément, mais cela est difficile en pratique parce que l'association des deux techniques est très courante, et sans véritable intérêt car leur dissociation n'est ni souhaitable sur le plan conceptuel, ni souhaitée par la grande majorité des enfants [8].

Intérêt de l'anesthésie locorégionale

Lorsqu'un bloc de conduction est installé, la profondeur de l'AG associée peut être réduite, ce qui en

minimise les effets secondaires. La rapidité du réveil et du retour des fonctions supérieures avec une analgésie de qualité est alors un élément primordial de la prise en charge postanesthésique rendue possible par l'association des techniques. En effet, l'un des intérêts majeurs de l'ALR chez l'enfant est d'assurer une excellente analgésie sans adjonction de morphiniques par voie systémique. Cet avantage est particulièrement utile pour la chirurgie ambulatoire et pour la chirurgie du nouveau-né ou du nourrisson [15, 19, 20, 25-32] car la douleur est contrôlée tout en respectant l'intégrité fonctionnelle des centres respiratoires [8, 19, 33]. L'anesthésie périmédullaire a des effets respiratoires bénéfiques propres [9, 15, 34, 35]. Elle améliore en effet la fonction respiratoire postopératoire [36] et réduit les besoins ventilatoires postopératoires. La qualité et la durée du confort postopératoire sont largement soulignées dans la littérature [11, 12, 15]. L'analgésie postopératoire est dans l'ensemble meilleure que celle procurée par l'utilisation des seuls morphiniques par voie systémique [11]. Parmi les facteurs à porter au crédit de l'ALR, on peut souligner l'effet bénéfique sur l'anabolisme protidique [37], la diminution du stress chirurgical tant pour les interventions mineures [38] que majeures [39], la diminution des nausées et des vomissements, et le retour plus rapide vers une activité normale.

La réalisation d'un bloc de conduction périmédullaire chez un enfant normovolémique n'entraîne pas, jusqu'à l'âge de 7 à 8 ans (hormis le cas particulier du jeune nourrisson), le retentissement hémodynamique habituellement observé chez l'adulte [3, 10, 24, 34] en raison d'un tonus sympathique de base moins élevé et d'une moindre capacitance veineuse au niveau des membres inférieurs. Ainsi, il n'existe pas de potentialisation des effets hémodynamiques de l'AG par l'ALR [10, 34, 40, 41].

Deux techniques sont systématiquement réalisées chez un enfant non endormi (voir question 8) : 1) l'anesthésie spinale (rachianesthésie), et parfois le bloc caudal, pour la chirurgie sous-ombilicale chez l'ancien prématuré de moins de 44 semaines d'âge postconceptionnel à condition de n'y associer ni sédatifs ni anesthésique général [8-13] ; 2) l'ALR intraveineuse (ALRIV) qui ne peut se concevoir que chez un enfant réveillé pour des raisons de sécurité et de surveillance [42, 43].

Intérêt de l'anesthésie générale associée

L'enfant, en situation préopératoire, présente un stress émotionnel fait d'anxiété, de crainte des actes médicaux et du personnel soignant, de peur des ponctions et des injections, d'appréhension de la séparation parentale. Le monde étranger, et étrange, du bloc opératoire représente aussi, en soi, une source d'angoisse. Ce stress émotionnel, ajouté à la peur d'être conscient lors du déroulement de la chirurgie, rend compte de l'intérêt essentiel qu'il y a à réaliser une ALR avec AG associée [8, 10, 11, 16]. De plus, les jeunes enfants n'ont pas fait l'acquisition de leur schéma corporel et les concepts de paresthésie et de bloc différentiel leur sont peu accessibles [13]. À titre d'exemple, plus de 25 % des enfants chez qui l'anesthésie par voie caudale avait été réalisée sans AG associée, ont dû être endormis 20 à 30 minutes après le début de la chirurgie pour permettre son achèvement [24].

Il n'existe pas suffisamment de données scientifiques pour définir une limite d'âge inférieure objective. Certains adolescents peuvent par exemple vivre plus « douloureusement », au sens psychologique du terme, une même situation chirurgicale par rapport à un préadolescent. Le vécu de cette situation dépend aussi des conditions de prise en charge préopératoire. La réalisation d'un bloc tronculaire d'un membre dans le service des urgences pour fracture déplacée et douloureuse chez un enfant de 6 ans peut permettre la poursuite des investigations radiologiques puis de la chirurgie sans anesthésie associée. L'effet antalgique immédiat entraîne en effet un gain de confiance, qui permet ainsi la réalisation de l'acte chirurgical.

En chirurgie réglée, et dans la plupart des situations où l'enfant n'est pas en situation douloureuse au moment de sa prise en charge, c'est l'anxiété produite par l'idée même de la réalisation de l'ALR qui rend nécessaire l'association d'une AG. Comme chez l'adulte, les conditions de réalisation techniques doivent être optimales pour se conformer aux règles de sécurité de l'ALR [44]. Les éléments de sécurité comprennent le respect des contre-indications, le choix de la technique la plus appropriée, la détermination précise des concentrations et des volumes à injecter, l'espacement des doses, le monitorage adapté [45].

C'est aussi parce que le repérage des différents espaces anatomiques (épidural, péritronculaire) demande une grande précision que l'immobilité de l'enfant est primordiale. La très faible distance entre le point de ponction et la zone de réalisation du bloc de conduction nécessite une « coopération » parfaite pour éviter une lésion nerveuse directe ou une brèche : cette immobilité ne peut être obtenue que par l'AG [8, 15, 46]. Par ailleurs, celle-ci associée ne masque pas totalement les signes cliniques et ceux du monitorage des complications de l'ALR. La surveillance des variations de l'activité électrique cardiaque, de la pression artérielle, de la coloration des téguments peut mettre en évidence des signes de surdosage et/ou de passage intravasculaire de la solution d'AL [6, 47, 48]. De même, le maintien

d'une respiration spontanée lors d'une chirurgie périphérique de courte durée permet théoriquement la détection d'une apnée liée à l'injection sous-arachnoïdienne de la dose-test.

Qu'est-ce qu'une anesthésie générale légère ?

Une technique d'ALR adéquate permet d'assurer l'analgésie lors de l'acte opératoire. L'AG peut être ainsi moins profonde (c'est-à-dire entraînant une simple perte de conscience de l'enfant) ce qui est le plus souvent suffisant pour assurer un déroulement optimal de l'acte chirurgical. Si le terme souvent employé d'AG « légère » est ambigu, il a au moins le mérite de souligner que toute anesthésie régionale nécessite les mêmes conditions de sécurité et de monitorage qu'une AG seule. La difficulté que l'on rencontre à définir un niveau de sédation ou d'anesthésie tient à deux facteurs principaux : 1) l'absence d'agent pharmacologique qui soit efficace dans les mêmes conditions pour tous les patients – la population pédiatrique est diverse ; 2) la difficulté à mesurer le niveau de sédation – les scores sont en pratique clinique longs à réaliser [49, 50]. La sédation a été définie avec des niveaux distincts : légère, consciente, modérée, moyenne, profonde, AG [51-53]. Ces différents stades correspondent en pratique à une diminution croissante du niveau de conscience associée à une perte progressive du contrôle des réflexes protecteurs des voies aériennes. Il existe de fait un continuum qui va de la sédation la plus légère à l'anesthésie la plus profonde. L'AG « légère « assure un niveau de stabilité physique et émotionnel compatible avec la réalisation de l'ALR chez l'enfant selon les règles de sécurité de la technique choisie [54] et celles inhérentes à toute AG. De nombreuses techniques sont utilisables : les plus couramment pratiquées sont l'induction et l'entretien par les agents halogénés ou par le propofol (3 à 4 $mg \cdot kg^{-1}$ à l'induction, avec un relais à la dose de 2 à 5 $mg \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$) [55].

Le contrôle des voies aériennes et une voie veineuse fonctionnelle sont les éléments-clés du pronostic lors d'une complication cardiovasculaire et/ou neurologique en cas de surdosage en anesthésique local. Le bénéfice de l'association des deux techniques est ainsi probablement supérieur aux limites de chacune des techniques en soi [2, 3, 6, 56].

QUESTION N° 2
CHOIX DES ANESTHÉSIQUES LOCAUX ET POSOLOGIE EN FONCTION DE L'ÂGE, DE LA TECHNIQUE ET DE LA LOCALISATION

Le choix de la solution AL, de sa concentration et du mode d'administration se pose chaque fois que l'on envisage de pratiquer une ALR chez l'enfant, et en particulier chez le nourrisson. Les recommandations posologiques qui vont suivre tiennent compte des connaissances actuelles sur le sujet. Elles ne doivent pas être considérées comme des règles absolues et intangibles. En effet, devant chaque patient, il convient toujours, de bien peser le rapport entre risque et bénéfice.

Prémédication

Les benzodiazépines, utilisées en prémédication entre autres, ont été accusées de favoriser la toxicité de la bupivacaïne [57, 58]. L'interaction, intéressante sur le plan des mécanismes pharmacologiques, n'a pas de conséquence clinique avérée à l'heure actuelle et ne conduit pas à modifier les règles habituelles de prémédication, y compris avec des benzodiazépines.

Agents disponibles

À l'exception de la tétracaïne et de la procaïne, peu utilisées, les AL disponibles en France sont tous des amides : lidocaïne, bupivacaïne, étidocaïne, prilocaïne, mépivacaïne et depuis peu la ropivacaïne. La lidocaïne est l'agent d'action courte de référence. Elle permet des gestes allant jusqu'à 60, voire 90 minutes. La mépivacaïne a une durée d'action légèrement supérieure, avec un pouvoir de diffusion et une capacité à créer un bloc moteur plus puissant que ceux obtenus avec la lidocaïne [59]. Elle est très utilisée dans les pays nordiques et l'Allemagne, l'AMM française en limite l'utilisation à l'enfant de plus de 1 mois. La bupivacaïne est un agent d'action plus prolongée qui permet des anesthésies de 2 à 4 heures. L'étidocaïne a peu d'indications en pédiatrie en raison de sa toxicité équivalente à celle de la bupivacaïne et parce qu'elle crée un bloc moteur majeur et très prolongé [60]. La prilocaïne tend à être abandonnée notamment parce qu'elle est susceptible de provoquer une méthémoglobinémie chez le nourrisson [61] (voir question 7). La tétracaïne est utilisée dans les pays anglo-saxons (rarement en France) pour les anesthésies spinales (rachianesthésies) chez le nouveau-né et le nourrisson [62]. Enfin, il convient de rappeler que les AL amides sont contre-indiqués chez les patients souffrant de porphyrie.

La ropivacaïne, nouvel agent de longue durée d'action, vient d'obtenir l'AMM chez l'enfant de plus de 12 ans pour l'anesthésie épidurale, solutions à 7,5 $mg \cdot mL^{-1}$ (0,75 %) et à 10 $mg \cdot mL^{-1}$ (1 %) et pour l'analgésie des 24 premières heures postopératoires, solution à 2 $mg \cdot mL^{-1}$ soit 0,2 %. Aucune solution de ropivacaïne n'est adrénalinée en raison d'un effet

vasoconstricteur propre de la molécule (ce qui pose le problème de la dose-test avant son injection). Malgré le faible bloc moteur qu'elle semble entraîner, il convient d'être prudent sur les concentrations utilisées, en attendant la publication de travaux établissant son innocuité.

La mise sur le marché de produits dits « génériques » complique la présentation des formes galéniques. Il convient donc de s'assurer de la présence ou non de conservateurs et/ou d'antioxydants dans les solutions. *Attention :* tout n'est pas forcément inscrit sur les étiquettes ! La lidocaïne non adrénalinée se présente en flacons de 20 mL à 0,5, 1 et 2 %, sans conservateur depuis 1997. La lidocaïne adrénalinée se présente en flacons de 20 mL à 1 % adrénalinée au 1/100 000e et 2 % adrénalinée au 1/80 000e. La bupivacaïne se présente en flacons de 20 mL à 0,25 et 0,5 %. Les solutions de bupivacaïne adrénalinées sont au 1/200 000e. La mépivacaïne se présente en ampoules plastiques de 20 mL à 1 et 2 % sans conservateur. Actuellement, il n'existe pas de solution de mépivacaïne adrénalinée. Attention : les solutions adrénalinées (lidocaïne et bupivacaïne) contiennent du métabisulfite qui peut induire des réactions allergiques, les réactions allergiques aux AL amides eux-mêmes étant exceptionnelles. Il est souvent préférable, pour une utilisation en routine, de diluer les solutions de lidocaïne adrénalinées de moitié avec la solution non adrénalinée pour obtenir une solution contenant 5 $\mu g \cdot mL^{-1}$ d'adrénaline (la solution au 1/100 000e contient 10 $\mu g \cdot mL^{-1}$ d'adrénaline et la solution au 1/200 000e 5 $\mu g \cdot mL^{-1}$) ou d'injecter juste avant l'emploi 0,1 mL d'adrénaline à 1/1000e dans un flacon de 20 mL de solution non adrénalinée.

Particularités physiologiques de l'enfant

Les solutions utilisées en pédiatrie doivent être comparativement moins concentrées que celles utilisées chez l'adulte pour un même type de chirurgie. L'équipe de Boston [63] a montré chez le lapin que l'intensité du bloc moteur en fonction de la concentration était d'autant plus importante (à concentration égale) que l'animal était plus jeune. Le mécanisme est mal élucidé, mais vraisemblablement en rapport avec la maturation de la myélinisation nerveuse. Chez l'homme, la myélinisation n'est complète que vers l'âge de 12 ans. Ces faits expérimentaux [63] corroborent l'expérience clinique qui nous apprend que plus l'enfant est jeune, moins le recours à des solutions concentrées est nécessaire pour obtenir un bloc moteur d'intensité comparable ou supérieure à celle obtenue chez un enfant plus grand. La persistance d'un certain degré de bloc moteur après récupération de la sensibilité est d'ailleurs fréquente en ALR pédiatrique. Ainsi, les solutions de lidocaïne à 1 % et de bupivacaïne à 0,25 % sont le plus souvent suffisamment concentrées pour les enfants de moins de 8 à 10 ans. Pour certains actes de chirurgie orthopédique ou pour des enfants plus âgés, les solutions utilisées peuvent être de 1,5 % pour la lidocaïne et 0,375 %, voire 0,5 % pour la bupivacaïne.

Particularités pharmacocinétiques en fonction de l'âge

Les AL amides, c'est-à-dire tous ceux énumérés plus haut, à l'exception de la tétracaïne et de la procaïne, sont métabolisés dans le foie par le système des cytochromes P450 et leur sous-familles, en particulier, le CYP3A pour la lidocaïne. Ce système n'atteint un premier stade de maturité que dans les 2 à 3 semaines qui suivent la naissance[1]. C'est pourquoi la clairance de tous les AL est nettement plus faible chez le nouveau-né que chez le nourrisson et chez l'enfant plus grand avec des différences entre les agents [64]. La vitesse de biotransformation diffère selon les produits. La prilocaïne est la plus rapidement métabolisée, suivie, par ordre décroissant, de l'étidocaïne, la lidocaïne, la mépivacaïne, et enfin la bupivacaïne qui a le métabolisme le plus lent. Des études déjà anciennes et de méthodologie discutable en raison de problèmes d'éthique ont montré que la demi-vie d'élimination des différents AL était trois à six fois supérieure au moment de la naissance que chez l'adulte [65]. La lidocaïne est l'agent pour lequel la différence entre nouveau-né et adulte paraît la plus faible. La clairance des AL reste basse pendant les premiers mois de vie [66, 67], puis elle augmente progressivement et devient même supérieure à celle de l'adulte à partir de l'âge de 2 à 4 ans. À cet âge, des doses que l'on pourrait qualifier de « toxiques » si elles étaient ramenées au poids chez l'adulte [68-70] pourraient être bien tolérées, sans que l'on puisse, bien sûr, utiliser cette particularité pour administrer des doses excessives d'AL.

Parallèlement à la faible clairance observée pendant les premiers mois de vie, le nouveau-né et le nourrisson ont un grand volume de distribution en raison de l'importance de leurs compartiments hydriques. Ces deux facteurs (faible clairance et grand volume de distribution)

---

[1]Cette remarque concerne les prématurés comme les nouveau-nés à terme. La maturation est plus fonction des contacts de l'enfant avec le milieu extérieur que de l'âge postconceptionnel comme on peut le noter à propos de la survenue et de la durée de l'ictère néonatal. Cependant, comme pour l'ictère, les prématurés de moins de 30 à 32 semaines sont plus sensibles et la prudence s'impose toujours chez les enfants de cet âge.

Tableau I. Concentrations plasmatiques attendues après l'administration d'une dose moyenne (soit 8 à 10 mg·kg^{-1} de lidocaïne ou de mépivacaïne ou 1,5 à 2,5 mg·kg^{-1} de bupivacaïne) par voie épidurale et concentrations sériques considérées comme toxiques pour les trois principaux anesthésiques locaux amides utilisés en France.

	Lidocaïne (µg·mL^{-1})	*Bupivacaïne* (µg·mL^{-1})	*Mépivacaïne* (µg·mL^{-1})
Concentrations attendues après posologie moyenne	3 à 5	0,5 à 1,0	3 à 5
Concentrations considérées comme toxiques	7 à 10	1,5 à 2 (bolus au bloc opératoire) 2 à 2,5 (perfusion périneurale continue)	7 à 10

se contrebalancent, et la concentration observée au pic est inférieure au seuil toxique après une injection unique [66] (tableau I). À l'inverse, si des réinjections (ou une perfusion continue) sont pratiquées, des phénomènes d'accumulation vont se produire inéluctablement, le volume de distribution va progressivement se saturer et la concentration dépasser le seuil toxique [67]. Ce seuil toxique[2] est plus vite atteint chez le nouveau-né et chez le nourrisson que chez l'enfant plus âgé ou l'adulte en raison de la faible concentration sérique d'α1-glycoprotéine acide (ou orosomucoïde) à cet âge. En effet, la concentration mesurée est la somme de la concentration d'AL liés aux protéines (non toxique) et de la fraction libre dans le plasma qui est la fraction active et toxique). La faible teneur plasmatique en orosomucoïde a pour conséquence d'inactiver une plus faible proportion d'AL, donc d'augmenter dans des proportions considérables leur fraction libre dans le sérum [66]. Pour cette raison, il faut limiter et espacer les réinjections à cet âge (voir plus loin). La lidocaïne n'échappant pas à ce mécanisme, il est faux de penser qu'elle peut être utilisée sans risque à n'importe quel âge, à la différence de la bupivacaïne. En effet, si la lidocaïne est moins cardiotoxique que la bupivacaïne, sa durée d'action courte et sa moindre liposolubilité rendent nécessaires des réinjections fréquentes ; en outre, le rapport de concentration entre site d'action et sang circulant est en sa défaveur [71, 72]. Il est vraisemblable, mais non prouvé, que ce rapport est encore plus défavorable pour la mépivacaïne, étant donné la faible liposolubilité de cet agent. En raison du manque de données sur la pharmacocinétique des AL chez le prématuré et le nouveau-né (de la naissance à 1 mois) nous nous bornerons à décrire pour cette population les posologies pour une injection unique de bupivacaïne par voie caudale chez les enfants de plus de 6 à 8 jours (chez qui il convient d'être attentif également à la maturation de l'hémostase), et les posologies pour une anesthésie spinale (rachianesthésie), techniques valables quel que soit l'âge étant donné les faibles doses utilisées [62, 66, 73]. Le recours à l'anesthésie épidurale chez le prématuré et le nouveau-né jusqu'à 1 mois, et la pratique des réinjections à cet âge restent du domaine des centres spécialisés [67, 74].

L'adrénaline utilisée comme adjuvant, en particulier au cours des anesthésies épidurales, permet de diminuer la concentration de l'anesthésique local au pic [75], de prolonger la durée de l'analgésie postopératoire après anesthésie caudale ou bloc ilio-inguinal, et ceci d'autant plus que l'enfant est jeune [76]. Enfin, la dose-test adrénalinée est un important facteur de sécurité.

Particularités et posologies recommandées pour les procédures habituelles selon l'âge

Anesthésie spinale (ou rachianesthésie)

L'anesthésie spinale est la technique de choix pour la chirurgie sous-ombilicale chez le nourrisson ancien prématuré. Elle permet de diminuer de façon significative le risque d'apnée postopératoire à la condition qu'aucun agent sédatif ne soit utilisé. Trois AL peuvent être utilisés, la tétracaïne surtout utilisée dans les pays anglo-saxons, la bupivacaïne hyperbare et la bupivacaïne standard, légèrement hypobare lorsque sa température est inférieure à 37 °C [62, 73]. La solution commerciale de bupivacaïne à 0,5 % non adrénalinée ne comporte aucun agent conservateur ou antioxydant et a une excellente tolérance hémodynamique, ce qui permet de conseiller cette forme galénique, malgré l'absence de recommandations légales pour son utilisation par voie intrathécale [73]. Les doses habituelles sont résumées dans le tableau II.

[2]Il est difficile de donner une valeur chiffrée de ce seuil toxique. Cependant, nous admettrons avec GT Tucker (*Br J Anaesth* 1986;58:717-31) une valeur de 0,2 µg·mL^{-1} de concentration libre pour la bupivacaïne.

Tableau II. Posologies habituelles chez l'enfant de plus de 6 mois. Il s'agit, comme il est précisé dans le texte, de posologies pour les enfants pesant moins de 20 kg ; à partir de ce poids il convient de réduire progressivement la dose rapportée au poids pour atteindre les posologies habituelles de l'adulte vers 40 kg. Les solutions plus concentrées (lidocaïne et mépivacaïne à 2 %, bupivacaïne à 0,5 %) sont très rarement nécessaires avant l'âge de 8 ans. La ropivacaïne n'apparaît pas sur ce tableau en raison de l'absence de données scientifiques suffisantes chez l'enfant.

Voie d'administration	*Agent*	*Dose maximale*	*Réinjections*	*Remarques*
Locale	Lidocaïne à 5 % au moyen du pulvérisateur spécial : 1 pulvérisation = 8 mg			
pharyngolaryngée	1 pulvérisation par 10 kg de poids *			
Caudale	Lidocaïne 1 %, rarement 1,5 % adrénalinée	10 mg·kg^{-1}	-	
	Mépivacaïne 1 %	10 mg·kg^{-1}	-	Il n'existe pas de solution de mépivacaïne adrénalinée
	Bupivacaïne 0,25 % adrénalinée	2,5 mg·kg^{-1}	-	
Épidurale	Lidocaïne 1 %, rarement 1,5 % adrénalinée	8 mg·kg^{-1}	3 à 5 mg·kg^{-1}	Cet agent n'est pas indiqué pour des anesthésies longues avec réinjections
	Mépivacaïne 1 %	8 mg·kg^{-1}	3 à 5 mg·kg^{-1}	Même remarque que pour la lidocaïne ; de plus il n'existe pas de solution de mépivacaïne adrénalinée
	Bupivacaïne 0,25 % rarement 0,375 % adrénalinée	1,5 à 2 mg·kg^{-1}	0,75 à 1,5 mg·kg^{-1}	Ne pas dépasser 1 à 2 réinjections de 0,75 à 1 mg·kg^{-1} chez les nourrissons de moins de 4 à 6 mois
	0,125 % ou 0,25 % non adrénalinée	0,2 à 0,25 mg·kg^{-1}·h^{-1}	-	Analgésie postopératoire à partir de 4 à 6 mois
		0,25 à 0,35 mg·kg^{-1}·h^{-1}	-	Analgésie postopératoire à partir de 12 à 18 mois
		0,25 à 0,40 mg·kg^{-1}·h^{-1}	-	Analgésie postopératoire à partir de 4 ans
Spinale	Bupivacaïne isobare 0,5 % sans vasoconstricteur	0,6 mL si < 2 kg, 0,8 mL de 2 à 5 kg, 1 mL si > 5 kg		
	Tétracaïne 1 %	0,3 à 0,4 mg·kg^{-1}		
Blocs périphériques	Les posologies à ne pas dépasser sont celles de l'anesthésie épidurale			

* Sitbon P et al. *Anesth Analg* 1996;82:1003-6

Agents et doses chez les enfants de 10 jours jusqu'à 4 et 6 mois environ (en dehors de la rachianesthésie)
La lidocaïne à 1 % et, à partir de 1 mois, la mépivacaïne à 1 %, à la dose maximale de 10 mg·kg^{-1} permettent des anesthésies courtes. L'agent le plus utile en pratique clinique est la bupivacaïne à 0,25 % adrénalinée à la dose maximale de 2,5 mg·kg^{-1} (1 mL·kg^{-1}) en injection unique. Elle permet de pratiquer la plupart des gestes usuels à cet âge en assurant, de plus, une excellente analgésie durant les premières heures postopératoires [74]. À cet âge, les réinjections doivent être limitées. Si néanmoins celles-ci s'avèrent nécessaires, il faut privilégier les techniques qui permettent de les limiter comme l'anesthésie épidurale lombaire. Mais ces techniques nécessitent une compétence et une surveillance particulières.

Agents et doses chez les enfants de plus de 6 mois
Les mêmes agents sont utilisables, et, comme souligné précédemment, les concentrations peuvent être augmentées progressivement avec l'âge, lorsqu'un bloc moteur important est souhaitable : lidocaïne à 1,5 % (rarement à 2 %), bupivacaïne à 0,375 % (voire à 0,5 %). Jusque vers 6 ans, les doses rapportées au poids sont les mêmes (en mg·kg^{-1}) que pour les enfants les plus jeunes. À partir de 20 kg, il convient de diminuer ces doses pour atteindre les posologies habituelles de l'adulte chez les enfants pesant 40 kg et plus. Il ne faut

pas, à l'évidence, dépasser les doses maximum de l'adulte, c'est-à-dire 600 mg de lidocaïne ou de mépivacaïne et 150 mg de bupivacaïne.

Mélanges d'anesthésiques locaux

Il sont assez souvent utilisés en pédiatrie. La toxicité des mélanges d'AL est additive [77], le mélange ne diminuant en rien la toxicité propre de chaque molécule. À titre d'exemple, un mélange en parties égales de lidocaïne à 1 % et de bupivacaïne à 0,25 % (solutions équipotentes) a une toxicité équivalente à la solution pure de l'agent le plus toxique (la bupivacaïne en l'occurrence).

Anesthésiques locaux dans la période postopératoire

Ce chapitre se limite aux seuls AL et n'envisage pas leurs associations avec d'autres agents tels les morphiniques ou la clonidine.

Avant l'âge de 4 à 6 mois, l'analgésie postopératoire par perfusion périneurale expose à des risques importants d'accumulation pour des raisons pharmacocinétiques [66, 78-81]. C'est pourquoi la technique ne doit pas être utilisée en dehors des centres spécialisés et pour des périodes ne dépassant pas 48 heures. En effet, avant cet âge, l'administration prolongée d'anesthésiques locaux conduit à une élévation rapide de leur fraction libre donc toxique, du fait de la faible concentration d'α1-glycoprotéine acide à cet âge, même si le syndrome inflammatoire postopératoire a pour effet d'augmenter la concentration de cette protéine [67, 78, 80, 81]. La fréquence cardiaque plus rapide chez les enfants jeunes risque également d'augmenter leur sensibilité au bloc phasique de la bupivacaïne, et donc à ses effets toxiques. Il est d'ailleurs frappant de remarquer que, dans les publications, seuls de jeunes enfants ont présenté des manifestations toxiques cardiaques en cours d'administration continue, il est vrai à des posologies très importantes [82, 83].

Après l'âge de 5 à 6 mois l'analgésie périneurale se réalise avec la bupivacaïne en perfusion continue (au pousse-seringue électrique chez les plus jeunes, ou mieux par une pompe de sécurité verrouillable), à la posologie de 0,2-0,25 $mg \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ avant l'âge de 1 an, de 0,3 à 0,35 $mg \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ après 1 an. La dose à ne pas dépasser est de 0,4 $mg \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ à partir de 4 ans, âge où la clairance est la plus élevée [84-86]. La solution communément utilisée pour l'entretien de l'analgésie est la bupivacaïne non adrénalinée à la concentration de 0,25 ou 0,125 %. Cette dernière a la faveur de la plupart des auteurs car elle semble provoquer moins de bloc moteur, ce qui n'est pas prouvé, et parce qu'elle est facilement maniable, sans grand risque.

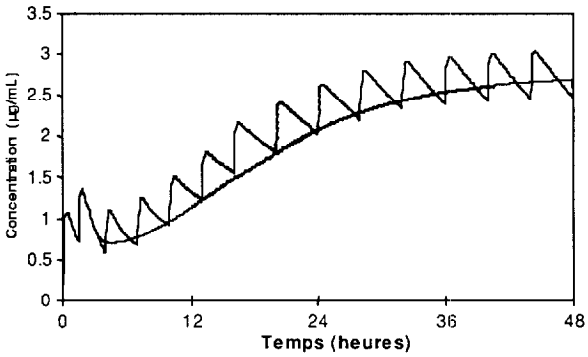

Fig 1. Analgésie épidurale postopératoire : simulation des concentrations de bupivacaïne chez un enfant ayant une clairance initiale de la bupivacaïne de 10 $mL \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$. Au bloc opératoire, il avait reçu 1 875 $mg \cdot kg^{-1}$ de bupivacaïne (0,75 $mL \cdot kg^{-1}$ de bupivacaïne à 0,25 %) par voie épidurale, puis une réinjection de 1,25 $mg \cdot kg^{-1}$ (0,5 $mL \cdot kg^{-1}$) 90 minutes après. Il sort du bloc 2 h 30 après la première injection et conduit en salle de surveillance postinterventionelle. Deux schémas d'analgésie postopératoire sont représentés : perfusion continue ou injections discontinues à la même posologie. La perfusion continue (0,25 $mg \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$, soit 0,1 $mL \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ de bupivacaïne à 0,25 %) a été commencée 3 heures après la première injection. En raison du délai entre la dernière injection à 1 h 30 et la mise en route de la perfusion la concentration a commencé par chuter et n'a n'atteint un plateau (à plus de 2 $\mu g \cdot mL^{-1}$) qu'après 36 heures de perfusion. Le deuxième schéma thérapeutique est celui des réinjections itératives dans le cathéter. La première réinjection a été pratiquée seulement 4 heures après l'injection initiale. La posologie a été de 1 $mg \cdot kg^{-1}$ toutes les 3 heures de la 4e à la 20e heure, puis toutes les 4 heures (soit 0,4 $mL \cdot kg^{-1}$ de bupivacaïne à 0,25 %) à partir de la 20e heure. Comme précédemment, l'allure globale de la courbe a montré une chute initiale des concentrations, suivie d'une montée progressive. La concentration de bupivacaïne s'est élevée (supérieure à 2 $\mu g \cdot mL^{-1}$) à partir du 2e jour. Probablement, en raison du syndrome inflammatoire postopératoire (forte augmentation de l'orosomucoïde [ou α1-glycoprotéine acide] sanguin), la fraction libre est restée proportionnellement faible, limitant le risque toxique. Cependant, la courbe montre bien que les réinjections exposent à des pics de concentration élevés environ 15 à 45 minutes après l'injection, et donc à l'apparition de manifestations toxiques à ce moment.

La surveillance du niveau d'analgésie et le dépistage des signes de toxicité neurologique doivent être effectués bi-quotidiennement (voir question 9). La mise en route de la perfusion continue doit se faire si possible immédiatement après l'administration de la dose de charge, au bloc opératoire, de façon à éviter tout intervalle libre dans la thérapeutique. Toute injection additionnelle. telle qu'elle peut être pratiquée au bloc opératoire doit être proscrite en période postopératoire. En effet, à l'état d'équilibre toute injection supplémentaire génère un pic de concentration qui peut s'avérer toxique (fig 1). Si le niveau d'analgésie est insuffisant au cours d'une analgésie épidurale par exemple, il est

préférable d'augmenter temporairement le débit de la perfusion pendant 2 à 3 heures, sans dépasser 0,5 $mg \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$. Dans ces conditions, le déplacement du cathéter dans un vaisseau sanguin, ou même l'erreur de ligne de perfusion n'a pas de conséquences dramatiques car, à l'équilibre, la quantité qui sort de l'organisme par unité de temps est égale à celle qui y entre, que ce soit directement dans un vaisseau sanguin ou par l'intermédiaire de l'espace périneural concerné.

Une place à part doit être réservée à la pratique, assez courante, de l'analgésie-anesthésie postopératoire permettant certains gestes très douloureux comme une mobilisation de membre. Il n'est pas possible de tout cumuler, analgésie continue et anesthésie discontinue. En effet, à la lumière des données précédentes, il est clair que des réinjections sur un fond de perfusion continue exposent à la survenue de pics de concentration toxiques (fig 1). Si l'on choisit l'option de réaliser des injections discontinues, il faut pratiquer celles-ci à des intervalles de 3 à 4 heures pour la lidocaïne, et de 5 à 6 heures pour la bupivacaïne.

La voie épidurale est la voie d'administration le plus souvent utilisée ; les autres, couramment utilisées chez l'adulte comme la voie interpleurale, sont plus rarement utilisées en pédiatrie à l'heure actuelle [87].

Toxicité des anesthésiques locaux

Nous n'évoquerons pas la toxicité nerveuse directe qui a été décrite chez l'adulte essentiellement après injection sous-arachnoïdienne de lidocaïne à 5 % ou de tétracaïne. La toxicité systémique des AL est neurologique centrale et cardiaque, la lidocaïne étant beaucoup moins cardiotoxique que la bupivacaïne. Au cours de l'anesthésie, les accidents toxiques peuvent survenir après une injection unique ou après une réinjection, alors que les précédentes s'étaient passées sans problème. Dans le cas d'une analgésie continue, les premiers signes de toxicité peuvent ne s'observer qu'après plusieurs dizaines d'heures de perfusion sans problème [82, 83]. Nous ne rappellerons pas les signes de la toxicité neurologique ou cardiaque qui sont décrits plus loin. Cependant, il faut insister sur le fait que les signes annonciateurs de la toxicité neurologique sont beaucoup plus difficiles à évaluer que chez l'adulte, en raison de difficultés évidentes de communication liées à l'âge ou de l'AG souvent associée.

Toxicité cardiaque de la bupivacaïne ou de l'étidocaïne : considérations pharmacologiques

Bien que la toxicité cardiaque ne soit pas au premier plan des manifestations toxiques des AL chez l'adulte, c'est elle qui doit rester présente à l'esprit chez le nouveau-né et le nourrisson, en particulier au cours d'administrations continues [82, 83]. Cette cardiotoxicité est principalement due à l'action de la bupivacaïne sur le canal sodique, mais aussi au fait qu'elle bloque les canaux calciques et surtout potassiques, à des concentrations à peine supérieures à celles nécessaires pour bloquer les canaux sodiques [88-90]. Ceci explique la fréquence des troubles de conduction (bradycardies, blocs auriculoventriculaires de haut degré, torsades de pointes) [91, 92]. En fait, la fréquence cardiaque plus élevée des enfants les expose davantage que les adultes au bloc dépendant de la fréquence, c'est-à-dire au phénomène qui fait que l'intensité du bloc se renforce quand la fréquence de dépolarisation du nerf (ou des fibres myocardiques) augmente. C'est ainsi que l'on a décrit des troubles du rythme et de la conduction au cours d'administrations prolongées de bupivacaïne chez des nourrissons, alors que ces mêmes troubles n'ont été décrits chez l'adulte qu'au cours d'administrations aiguës. Il s'agissait alors d'injections intravasculaires accidentelles massives. Le traitement est représenté par le lavage du myocarde qui se fait rapidement tant qu'un débit coronaire est maintenu [92]. Seul un médicament a fait preuve d'efficacité dans ces circonstances dans l'état actuel des connaissances. Il s'agit de l'adrénaline car c'est le seul médicament maniable en urgence. Cependant, elle doit être utilisée avec prudence car elle peut favoriser de façon certaine la survenue d'une tachycardie ventriculaire et d'une fibrillation ventriculaire [93]. La lidocaïne a pu montrer un effet de déplacement de la bupivacaïne sur des préparations in vitro. Il n'est cependant pas licite de transposer ces résultats à l'homme, car dans ces conditions, l'injection d'un autre AL ne peut qu'additionner les toxicités. En cas de manifestations toxiques au cours d'une administration continue, la phénytoïne à la dose de 5 $mg \cdot kg^{-1}$ en perfusion de 10 minutes a été utilisée [83]. Mais aucune étude contrôlée n'a prouvé son efficacité.

Faut-il effectuer un prélèvement sanguin en cas d'accident ?

L'intérêt d'un prélèvement sanguin en cas d'accident est discuté car, en dehors de certains cas d'administration continue d'AL, il est rare que le dosage puisse apporter une certitude diagnostique. Il pourrait en être autrement si le prélèvement était réalisé au moment même de l'accident, ce qui n'est qu'exceptionnellement le cas, car les manœuvres de réanimation sont, à juste titre, réalisées en premier lieu. L'expérience montre que l'interprétation des chiffres obtenus à partir de prélèvements effectués à distance de l'accident est souvent difficile ; en outre, des taux élevés sont souvent observés sans qu'aucune symptomatologie clinique ne

soit notée. Ceci pourrait suggérer que la vitesse de l'injection accidentelle joue un rôle important dans la genèse des accidents. Il semble, en particulier pour la toxicité neurologique, que ce soit la vitesse à laquelle le pic de concentration est atteint, plus que la simple valeur de cette concentration, qui soit déterminante.

Il n'en reste pas moins vrai que plus le prélèvement est proche de l'accident clinique, plus les valeurs mesurées sont faciles à interpréter. Il est donc très important de bien préciser l'intervalle de temps séparant l'accident et le prélèvement. Habituellement un prélèvement de 2 à 5 mL de sang sur un anticoagulant permet d'effectuer le dosage. Il est préférable, quand cela est possible, de se faire préciser les conditions du prélèvement par le laboratoire auquel il sera adressé, ce qui ne doit pas retarder le prélèvement.

QUESTION N° 3
QUELS ADJUVANTS POUR L'ANESTHÉSIE LOCORÉGIONALE CHEZ L'ENFANT ?

Dans le contexte pédiatrique l'ALR associée à une AG légère permet d'obtenir une analgésie peropératoire stable sans recours aux analgésiques morphiniques par voie systémique générale. En fin d'intervention, le niveau d'AG plus superficiel permet un réveil rapide de l'enfant qui, par ailleurs, bénéficie d'emblée d'une analgésie postopératoire de qualité et durable avec une régression progressive du bloc sensitif. Le délai, la durée d'action et la qualité du bloc, sensitif ou moteur, dépendent des agents utilisés, essentiellement représentés par les AL, qui peuvent induire des effets secondaires le plus souvent corrélés à la quantité administrée. L'association d'adjuvants aux AL peut permettre d'améliorer la qualité et/ou la durée de l'analgésie sans majorer les effets indésirables, ce qui est particulièrement intéressant dans le contexte de l'injection unique et peut éviter la mise en place d'un cathéter de réinjection dans la chirurgie de moyenne durée (2 à 3 heures). Les principaux adjuvants utilisés en pédiatrie sont des agonistes adrénergiques (blocs périphériques et centraux) et des morphiniques (blocs centraux).

Agonistes alpha-adrénergiques

Adrénaline

L'adrénaline est utilisée depuis de nombreuses années pour renforcer et prolonger l'effet des AL. Elle agit surtout en diminuant leur résorption sanguine, mais pourrait également exercer un effet analgésique direct par stimulation des récepteurs alpha$_2$ au niveau de la corne dorsale de la moelle [94]. Ses effets dépendent de la nature et de la concentration de chaque AL. Ils sont plus marqués en association avec des AL faiblement concentrés ou de courte durée d'action. D'autre part, son intérêt semble plus important dans le cadre des infiltrations locales ou des blocs périphériques que dans celui des blocs centraux. Chez l'enfant cependant, l'addition d'adrénaline prolonge significativement la durée du bloc épidural lombaire [41] ou caudal [76] à la bupivacaïne et cela d'autant plus que l'enfant est plus jeune. Par ailleurs, l'utilisation de solutions adrénalinées permet de détecter une injection intravasculaire.

Ainsi, les solutions adrénalinées sont généralement conseillées en pédiatrie, sauf pour les blocs intéressant une région dont la vascularisation est de type terminal, notamment les blocs péniens et digitaux, ainsi que pour l'anesthésie locale du lobe de l'oreille et certains blocs de la face (bloc du nerf infra orbitaire, anesthésie péribulbaire). La concentration généralement recommandée est de 1/200 000e.

Clonidine

Les propriétés analgésiques de la clonidine, agoniste alpha$_2$-adrénergique, sont actuellement reconnues. Son administration intrathécale chez l'animal produit des effets analgésiques puissants, qui se traduisent par une diminution de la réactivité des neurones nociceptifs de la corne dorsale après stimulation des fibres afférentes A-delta et surtout C [95]. La clonidine agit sur les récepteurs alpha$_2$-adrénergiques spécifiques situés dans la substance gélatineuse de Rolando et sur les membranes pré- et postsynaptiques des neurones afférents. Comme les agonistes morphiniques, elle diminue la libération de la substance P provoquée par la stimulation des fibres A-delta et C. L'essentiel de son effet analgésique se situe donc au niveau spinal, mais un effet supraspinal pourrait être impliqué. L'analgésie induite ne dépend pas d'une activation des récepteurs morphiniques [96]. Par ailleurs, la clonidine présente des propriétés sympatholytiques et vagomimétiques [97].

Les données bibliographiques actuellement disponibles concernant d'éventuels effets toxiques de la clonidine (effets sur l'hémodynamique médullaire du rat ou du porc, devenir après administration intrathécale lombaire ou cervicale chez le mouton ou le singe, études histologiques chez le mouton, le rat et le chien), permettent de considérer que son administration rachidienne est sans danger [98].

Chez l'enfant, l'association par voie épidurale de la clonidine à la bupivacaïne [99-103], à la mépivacaïne [104] ou à la lidocaïne [105, 106] prolonge l'analgésie postopératoire. L'adjonction de 1,5 $\mu g \cdot kg^{-1}$ de clonidine prolonge significativement l'analgésie produite par l'administration épidurale d'un mélange lidocaïne à 1 %-bupivacaïne à 0,25 % adrénalinée [107]. Ces

caractéristiques permettent de diminuer les indications des cathéters épiduraux dans la chirurgie de durée moyenne (2-3 heures) dont l'analgésie est bien couverte par une injection unique de clonidine associée à des AL, pratique potentiellement moins agressive et moins coûteuse.

Chez l'enfant, la clonidine a été utilisée avec succès et sans effet secondaire notable aux doses de 1 [100], 1,5 [107], 2 [99, 102-104] et 3 $\mu g \cdot kg^{-1}$ [105, 106]. En revanche, l'administration d'une dose de 5 $\mu g \cdot kg^{-1}$ entraîne une dépression hémodynamique (hypotension, ralentissement de la fréquence cardiaque) pendant les 4 heures suivantes [101]. À l'heure actuelle, il semble donc raisonnable de préconiser une dose de 1 à 2 $\mu g \cdot kg^{-1}$. Les ampoules disponibles contiennent 150 µg de clonidine par mL, cette solution peut être injectée pure ou ramenée à la concentration de 15 $\mu g \cdot mL^{-1}$ dans un soluté salé isotonique.

Du fait de son action inhibitrice sur le locus coeruleus [108], la clonidine a un effet sédatif qui semble corrélé à la dose [99, 100, 104], notamment en cas d'intervention courte ; cependant les délais de réveil postanesthésique ne semblent pas majorés. Les effets dépresseurs respiratoires rapportés chez l'adulte après l'administration épidurale de 300 µg restent très modestes [109], et n'ont pas été étudiés chez l'enfant.

Dans le cadre des blocs périphériques, le bénéfice lié à l'adjonction de la clonidine semble intéressant. En effet, en association avec la mépivacaïne dans les blocs axillaires chez l'adulte, la clonidine prolonge la durée d'analgésie per- et postopératoire [110, 111]. Cet effet positif semble également s'observer dans les blocs péribulbaires [112, 113].

Morphiniques

L'action analgésique des morphiniques administrés par voie rachidienne est médiée, au moins en partie, par des récepteurs (mu, delta et kappa) situés dans la moelle épinière, principalement au niveau de la substance grise de la corne dorsale (substance gélatineuse de Rolando) [114]. Au niveau présynaptique, les morphiniques agissent sur les fibres afférentes A-delta et C en inhibant le relargage de la substance P ; au niveau postsynaptique, ils diminuent la fréquence et l'amplitude des potentiels d'action des cellules de la substance gélatineuse de Rolando. L'analgésie résulte non seulement d'un effet spinal, mais également d'effets supraspinaux qui mettent en jeu des systèmes de contrôles inhibiteurs descendants, liés à la diffusion des morphiniques par voie systémique et par le LCR.

Administrée par voie épidurale, l'association morphine-AL est synergique et non simplement additive sur la qualité et la durée de l'analgésie [115]. Cliniquement l'adjonction de morphine à la bupivacaïne à 0,25 % ou à 0,125 % administrée par voie caudale prolonge considérablement la durée de l'analgésie postopératoire [116-118]. De nombreuses études ont été effectuées afin de préciser les doses nécessaires, la durée de l'analgésie et les effets secondaires. La durée de cette analgésie est peu modifiée par la dose utilisée, ce qui doit conduire à utiliser la dose minimale efficace (autour de 30 $\mu g \cdot kg^{-1}$), afin de diminuer l'incidence des effets secondaires. Ceux-ci sont représentés par les nausées et vomissements, le prurit, la rétention urinaire et la dépression respiratoire. Les nourrissons sont particulièrement exposés au risque de dépression respiratoire, surtout s'ils ont reçu des morphiniques par une autre voie, ou s'ils sont hypovolémiques [119]. Cette dépression, qui peut survenir après une dose relativement faible (40 $\mu g \cdot kg^{-1}$) [120], justifie une surveillance étroite des jeunes enfants recevant de la morphine par voie épidurale.

Les morphiniques plus liposolubles (fentanyl, sufentanil), peuvent également être utilisés bien que leur durée d'action soit théoriquement inférieure à celle des AL et que leurs effets secondaires soient identiques à ceux de la morphine. Chez l'enfant, l'administration épidurale de sufentanil (0,75 $\mu g \cdot kg^{-1}$) procure une analgésie rapide mais relativement brève (environ 200 minutes), avec une dépression respiratoire maximale survenant entre 30 et 60 minutes après l'injection [121]. L'association du fentanyl aux AL est fréquemment utilisée en pratique pédiatrique [122] mais son efficacité reste discutée. En effet, l'addition de 1 $\mu g \cdot kg^{-1}$ de fentanyl modifie peu la qualité et la durée de l'analgésie obtenue avec la lidocaïne à 2 % [123], ou la bupivacaïne à 0,125 % [124], mais prolonge l'analgésie postopératoire avec la bupivacaïne 0,25 % adrénalinée [125], ou le mélange lidocaïne 1 %-bupivacaïne 0,25 % [107].

Les effets secondaires associés à l'administration épidurale de fentanyl ne sont pas négligeables. Le risque de dépression respiratoire est bien décrit chez l'adulte [126, 127], et existe également chez l'enfant justifiant une surveillance adéquate. L'incidence des nausées et vomissements, majorée dans les premières heures postopératoires [107, 125], peut retarder la sortie de la salle de surveillance postinterventionnelle.

Association morphiniques-agonistes alpha-adrénergiques

La morphine et les agonistes $alpha_2$-adrénergiques sont synergiques. Chez l'animal, l'administration intrathécale simultanée de doses infraliminaires de morphine

et de clonidine diminue l'activité des neurones A-delta et C de la corne postérieure de la moelle en cas de stimulation nociceptive [128]. La clonidine n'augmente pas les effets dépresseurs respiratoires de la morphine [129]. L'association clonidine-fentanyl par voie épidurale permet d'obtenir une analgésie identique à celle procurée par le fentanyl seul, à dose deux fois plus importante avec des effets secondaires respiratoires moindres [130]. L'association clonidine-morphinomimétiques semble donc synergique chez l'homme comme chez l'animal. Cependant, chez le jeune enfant, cette double association a été peu évaluée et doit être utilisée avec prudence compte tenu de la complexité des dilutions [107].

Autres agents

Chez l'enfant, la kétamine [102, 131], et la buprénorphine [132] ont également été administrées par voie épidurale. Bien que la buprénorphine ait une AMM par voie rachidienne, son utilisation est déconseillée du fait de l'inconstante efficacité de la naloxone pour antagoniser ses effets dépresseurs respiratoires. La kétamine est encore en cours d'évaluation et l'absence de risque neurotoxique de toutes les formes commerciales disponibles n'est pas encore établie.

QUESTION N° 4
DOSE-TEST EN ANESTHÉSIE LOCORÉGIONALE PÉDIATRIQUE

La dose-test en ALR a pour but de prévenir des accidents graves liés à l'injection accidentelle d'un volume important d'anesthésique local dans l'espace sous-arachnoïdien ou dans un vaisseau. En 1981, Moore et Batra ont proposé d'injecter une dose-test de 3 mL d'anesthésique local et 15 µg d'adrénaline chez l'adulte [133]. Depuis cette publication, de nombreux travaux ont étudié la validité de cette technique chez différents groupes de patients, en particulier l'enfant.

Buts de la dose-test

Détection d'une injection sous-arachnoïdienne accidentelle

Celle-ci est difficile voire impossible chez l'enfant, car la plupart des blocs épiduraux sont réalisés sous AG. Les petits signes évocateurs de l'installation d'une anesthésie spinale ne peuvent donc être identifiés chez l'enfant avant la survenue d'un arrêt respiratoire (si les poumons ne sont pas ventilés artificiellement).

Détection d'une injection intravasculaire involontaire

L'injection intravasculaire massive d'AL reste une complication toujours possible et grave. L'enquête récente de l'ADARPEF sur l'ALR pédiatrique a rapporté des convulsions et des troubles du rythme cardiaque [1]. Chez l'enfant, la dose-test a pour but principal de mettre en évidence des signes précoces d'injection intravasculaire. Chez l'adulte, l'injection IV de 15 µg d'adrénaline entraîne une augmentation de fréquence cardiaque de 30 $b \cdot min^{-1}$, 30 secondes après l'injection et persistant environ 30 secondes [133]. Simultanément, il existe une augmentation de la pression artérielle de 20 mmHg, des modifications du tracé ECG (ESV, modification du segment ST ou de la forme de l'onde T, bigéminisme), et souvent, en l'absence d'AG, des signes subjectifs évocateurs à type d'acouphènes, de sensations de vertige, de dysarthrie. Cette symptomatologie est également observée lors d'une injection systémique accidentelle d'anesthésique local adrénaliné chez l'enfant [134, 135].

Facteurs modifiant la dose-test

Anesthésie générale

Le problème particulier posé chez l'enfant est celui de l'efficacité d'une dose-test sous AG. En fait l'injection d'une solution contenant 0,5 $\mu g \cdot kg^{-1}$ d'adrénaline chez des enfants anesthésiés à l'halothane augmente la fréquence cardiaque de plus de 10 $b \cdot min^{-1}$ dans trois cas sur quatre [136]. Cette augmentation survient dans les 30 secondes et dure environ 1 minute. Elle s'accompagne d'une élévation de la pression artérielle. Récemment, il a été montré qu'une dose-test avec 0,5 ou 1 $\mu g \cdot kg^{-1}$ d'adrénaline chez des enfants anesthésiés à l'halothane augmentait la pression artérielle dans tous les cas [137]. Cette augmentation survient dans les 45 à 60 secondes et dure environ 1 minute 30 secondes. C'est pourquoi sous anesthésie à l'halothane, la surveillance de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle, mais surtout du tracé ECG pour détecter toute modification du segment ST et de l'onde T [134, 138, 139] sont nécessaires pour détecter une injection intravasculaire accidentelle.

On a également montré chez l'adulte que le type d'anesthésique utilisé et la profondeur de l'AG influencent la réponse hémodynamique à la dose-test [140]. Chez l'enfant, l'incidence du sévoflurane, du thiopental ou du propofol sur la réponse à une dose-test est encore inconnue.

Atropine

L'administration IV d'atropine quelques minutes avant

la dose-test ne diminue pas la sensibilité du test et pourrait même l'améliorer [136] : l'injection intraveineuse de 10 $\mu g \cdot kg^{-1}$ d'atropine fait passer la sensibilité du test de 71 à 94 % chez des enfants anesthésiés à l'halothane [136]. La même potentialisation a été trouvée chez l'enfant anesthésié à l'isoflurane [141].

Bêtabloquants
Les bêtabloquants sont rarement utilisés chez l'enfant, mais il ne faut pas oublier qu'ils diminuent la sensibilité de la dose-test [142]. Dans ce cas, la surveillance de la pression artérielle est recommandée [143].

Quels agents choisir pour la dose-test ?

Choix de l'anesthésique local
Chez l'enfant, les études sur la dose-test ont été faites avec la lidocaïne [136] ou la bupivacaïne [137] ; le choix de l'AL est moins important que chez l'adulte, car le but principal est la détection de l'injection intravasculaire par l'adrénaline et non la détection d'une injection intrathécale.

Dose d'adrénaline
Chez l'enfant, il n'y a pas d'étude effet/dose pour l'adrénaline. La dose habituelle est 0,5 $\mu g \cdot kg^{-1}$ soit une solution d'anesthésique local contenant de l'adrénaline à 1/200 000 injectée à un volume de 0,1 $mL \cdot kg^{-1}$ [136]. Une étude récente a comparé deux doses d'adrénaline 0,5 et 0,75 $\mu g \cdot kg^{-1}$: la même efficacité a été décrite en terme de détection d'une injection intravasculaire [140].

Alternative à l'adrénaline
L'isoprénaline a été proposée à la place de l'adrénaline, et pourrait s'avérer particulièrement utile en cas d'utilisation d'AL structurellement vasoconstricteurs comme la ropivacaïne et pour lesquels l'addition d'adrénaline n'est pas souhaitable. Un travail sur l'agneau nouveau-né anesthésié à l'halothane a montré que la tachycardie se produit dans tous les cas [144]. En clinique, une étude récente a montré qu'une dose-test contenant 0,25 $mg \cdot kg^{-1}$ de bupivacaïne additionnée de 0,1 $\mu g \cdot kg^{-1}$ d'isoprénaline est un indicateur sensible de l'injection intravasculaire chez des enfants anesthésiés à l'halothane [145]. Cependant, l'innocuité neurologique de l'injection épidurale ou spinale d'isoprénaline n'a pas encore été démontrée.

Réalisation pratique de la dose-test

La dose-test doit être faite avec 0,5 $\mu g \cdot kg^{-1}$ d'adrénaline en surveillant l'ECG dès le début de l'injection (tachycardie, modifications : segment ST et de l'onde T), l'oxymètre de pouls (tachycardie, modification du pléthysmogramme) [134, 138] et la pression artérielle (enregistrement continu) [137]. L'augmentation massive de l'amplitude de l'onde T et du segment ST sont très précoces (10 secondes), alors qu'il faut attendre 30 secondes au moins avant d'observer une réaction hémodynamique à une injection intravasculaire accidentelle [146], ou une vasoconstriction cutanée généralisée chez un nourrisson [135]. Si l'enfant n'est pas anesthésié, il est utile de maintenir avec lui le contact verbal pour détecter des signes subjectifs précoces, comme chez l'adulte.

Quand faire la dose-test ?

Une dose-test doit être réalisée chaque fois qu'un bolus d'AL va être injecté par voie épidurale, y compris en cas d'abord caudal et lors des blocs périphériques même si aucun cas d'injection intravasculaire avec convulsions n'a encore été rapporté lors de la réalisation d'un bloc périphérique chez l'enfant [1]. En effet, un cas d'injection intravasculaire avec convulsions a été rapporté chez l'adulte, après un bloc plexique [147].

Comment réaliser une injection d'anesthésique local ?

Il faut toujours :
- effectuer un test d'aspiration avant toute injection : tout reflux liquidien inattendu doit faire retirer l'aiguille ou vérifier la position du cathéter ;
- injecter la dose-test : toute modification de la fréquence cardiaque, de la pression artérielle ou du tracé ECG implique l'arrêt immédiat de l'injection et la recherche de sa cause (niveau d'analgésie insuffisant, hypoventilation ou injection intravasculaire) ;
- injecter lentement la solution anesthésique locale : 1/4 de la dose totale toutes les 30 secondes (il s'agit en fait, de la réalisation de plusieurs doses tests successives), en surveillant le tracé ECG, la fréquence cardiaque et la pression artérielle (en mode rapide) ;
- interrompre l'injection devant une résistance anormale, pour éviter le risque d'injection intraneurale ;
- en cas de réinjection au travers d'un cathéter suivre la même procédure.

Si l'adrénaline ne peut être utilisée, par exemple lors du bloc pénien, il est particulièrement important de respecter les consignes de sécurité, notamment l'injection lente et les tests d'aspiration répétés. L'opportunité d'utiliser un autre agent, comme l'isoprénaline, peut également être évoquée.

QUESTION N° 5 MÉTHODES DE LOCALISATION DES TRONCS NERVEUX, DES ESPACES PÉRIMÉDULLAIRES ET DES PLANS DE DÉCOLLEMENT APONÉVROTIQUES

La réalisation d'une technique d'ALR, quelle qu'elle soit, repose sur le positionnement correct de l'extrémité de l'aiguille et/ou du cathéter servant à l'injection de la solution AL. L'immaturité psychologique de l'enfant et l'acquisition relativement tardive de son schéma corporel complet rendent difficile et aléatoire sa coopération efficace aux techniques de repérage. Ces dernières doivent, de ce fait, être assurées par des méthodes physiques indépendantes de la collaboration du patient, surtout si l'abord nerveux s'effectue sous AG.

Anesthésie locorégionale intraveineuse

La technique de repérage ne diffère pas de celle de la ponction veineuse habituelle et consiste en la mise en évidence d'un reflux sanguin passif sous garrot veineux placé en amont. Du fait de l'exsanguination du membre par bandage compressif, le matériel laissé en place doit être souple, non traumatisant et bien toléré par l'endothélium. Les canules IV courtes en matière plastique, munies ou non d'un site d'injection, répondent à ces impératifs [148, 149].

Blocs par diffusion dans des espaces aponévrotiques

La réalisation des blocs par diffusion sous-aponévrotique (ilio-inguinal, iliofascial, intrapleural, intercostal, paravertébral, pénien, etc) repose sur l'identification d'un plan aponévrotique précis et son franchissement contrôlé. Lorsque ce plan est unique et ne recouvre pas de structure essentielle susceptible d'être lésée par l'aiguille, il est possible d'utiliser un large éventail d'aiguilles en fonction des habitudes de chacun. Dans le cas contraire, en particulier lorsqu'il existe plusieurs plans aponévrotiques successifs qu'il importe d'identifier précisément, il convient d'utiliser une aiguille à biseau court [150] (ou dépourvue de biseau et à pointe mousse), de longueur appropriée à la profondeur à atteindre [151] et disposant d'une lumière suffisante pour permettre un reflux sanguin en cas d'effraction vasculaire (aiguilles de 21 à 24 gauge). La présence d'un mandrin obturateur, maintenu dans la lumière de l'aiguille pendant la ponction, est souhaitable pour éviter l'introduction de matériel cellulaire (et/ou bactérien) cutané ou sous-cutané dans les plan profonds. Un cathéter de réinjection peut être introduit et maintenu en place pour assurer un bloc continu ou des réinjections itératives. Dans de rares cas particuliers (blocs sympathiques et blocs du ganglion stellaire) une méthode de localisation par ultrasons peut être utile [152].

Blocs nerveux tronculaires

Les troncs nerveux périphériques peuvent être localisés par la recherche de paresthésies provoquées par la pénétration de la pointe de l'aiguille dans le périnèvre, où elle déclenche des potentiels d'action nociceptifs dans les nervi nervorum. Cette méthode, autrefois et encore très largement utilisée chez l'adulte, comporte un risque neurologique [153, 154] et nécessite que le patient soit capable d'identifier comme telle la paresthésie produite. Cette faculté d'analyse n'est souvent pas accessible à l'enfant, même coopérant.

Dans le cas particulier de l'abord du plexus brachial au creux axillaire, une technique couramment utilisée chez l'adulte consiste à localiser l'espace de diffusion périneurovasculaire par rapport à l'artère axillaire qui est délibérément ponctionnée. Une fois le reflux sanguin obtenu, l'aiguille de bloc est avancée au-delà de la paroi artérielle, jusqu'à la disparition du reflux et une partie de la solution anesthésique est alors injectée. L'aiguille est ensuite retirée jusqu'à la réapparition du reflux sanguin puis, à sa disparition, lorsque la pointe de l'aiguille est située juste en avant de la paroi artérielle, le restant de la solution est injecté dans l'espace périneurovasculaire antérieur. Cette technique efficace a cependant une morbidité qui n'est pas nulle et peut être à l'origine de complications notamment ischémiques non négligeables. Elle a fait l'objet d'une évaluation prospective récente chez l'adulte [155]. Son rapport bénéfices/risques est largement inférieur à la technique de localisation par stimulation électrique et, de ce fait, son utilisation chez l'enfant est très discutable.

L'utilisation d'un stimulateur nerveux est recommandée et a fait l'objet de nombreux travaux [156-159]. Elle se fonde sur la propriété qu'a le courant électrique de déclencher des potentiels d'actions identifiables dans les fibres nerveuses stimulées au-delà d'un seuil d'intensité minimal appliqué pendant un temps infini, la rhéobase, spécifique de chaque type de fibre nerveuse. Par commodité, il est préférable d'utiliser comme unité de mesure la chronaxie, qui représente le temps de contact entre la source électrique et la fibre nerveuse nécessaire au déclenchement d'un potentiel d'action, lorsqu'une intensité de courant double de la rhéobase est appliquée. Chaque type de fibre nerveuse a une chronaxie propre, qui est d'autant plus faible que la fibre est davantage myélinisée. Il est ainsi possible

de déclencher des potentiels d'action dans les fibres motrices, à l'origine de contractions musculaires identifiables, sans en déclencher dans les fibres sensitives adjacentes (absence de douleur et de paresthésie).

Lors de la localisation nerveuse, la source électrique (pointe de l'aiguille) n'est pas au contact des fibres nerveuses, mais à une distance variable. L'intensité réellement délivrée à la surface de la fibre obéit à la loi de Coulomb qui établit que le courant électrique se propage en raison inverse du carré de la distance. Pour limiter les risques de lésions, il est souhaitable que la source électrique déclenche les potentiels d'action avant d'arriver au contact même de la fibre. Inversement, pour réduire les risques d'échec du bloc, il faut éviter que l'injection ne soit réalisée trop à distance du nerf : l'intensité électrique émise par la source ne doit donc pas être trop forte pour éviter de déclencher de potentiels en dehors de l'espace de diffusion périnerveux. Des intensités comprises entre 0,5 et 1 mA répondent à cette double exigence pour la presque totalité des troncs nerveux et plexus de l'organisme à l'exception du nerf sciatique où des intensités de 1 à 1,5 mA sont souhaitables au moment de l'injection [160].

Tous les stimulateurs nerveux ne sont pas également utilisables. Seuls doivent l'être ceux développés pour la localisation nerveuse (intensité délivrée faible et temps de délivrance du signal électrique carré parfaitement défini), et non pas ceux utilisés pour le monitorage de la curarisation qui exposent au risque de lésion nerveuse électrique. Les modalités de connexion sont importantes. L'aiguille exploratrice doit impérativement être reliée à la cathode (électrode négative) et non à l'anode du stimulateur [161]. La qualité du contact électrique est essentielle à la sécurité de la technique : elle est assurée au mieux par l'utilisation d'électrodes prégélifiées.

La fiabilité de la localisation nerveuse par stimulation électrique suppose que le champ électrique soit maximal au site d'injection qui correspond à l'orifice de l'aiguille. Toute aiguille métallique est capable de conduire le courant électrique et de concentrer les charges au niveau de sa pointe (effet paratonnerre). Toutefois, le champ électrique n'est maximal à la pointe de l'aiguille que si celle-ci est assimilable à une source ponctuelle, ce qui n'est obtenu qu'avec des aiguilles isolées électriquement (entraînant un surcoût notable). Si l'aiguille n'est pas isolée, l'intensité du champ électrique produit est maximale non pas au niveau de la pointe de l'aiguille, mais en retrait d'elle (parfois de plusieurs millimètres). Il existe ainsi un risque lésionnel non négligeable avec les aiguilles non isolées, à biseau acéré, et soumises à des courants électriques de faible intensité.

La fiabilité de la localisation suppose également que l'orifice d'injection soit assimilable à la source électrique ponctuelle. Si la partie dénudée de l'aiguille isolée est distante de l'orifice d'injection, c'est cette partie qui sera positionnée correctement par rapport au nerf et non pas le site d'injection qui risque d'être situé en dehors de l'espace de diffusion périnerveux.

Anesthésie spinale (rachianesthésie)

La localisation de l'espace sous-arachnoïdien s'effectue par la mise en évidence après franchissement de la dure-mère d'un reflux de LCR, spontané ou facilité par aspiration, dans l'aiguille qui sera utilisée pour effectuer l'injection de la solution anesthésique. Les travaux récents sur les aspects techniques de la rachianesthésie (taille et forme des aiguilles) ont surtout porté sur le risque de céphalées après ponction [162, 163] plus que sur la technique de ponction, qui a peu varié.

Anesthésie épidurale intervertébrale

L'anesthésie épidurale intervertébrale est le plus souvent réalisée chez l'enfant par voie médiane postérieure. La localisation de l'espace épidural s'effectue par la mise en évidence d'une pression subatmosphérique, produite à la pénétration de l'aiguille dans l'espace épidural après la traversée du ligament jaune.

Plusieurs méthodes ont été et sont parfois encore utilisées pour certains abords haut situés comme la technique de la goutte pendante ou celle du ballonnet de Macintosh. La première consiste à déposer une goutte de soluté salé isotonique à l'extrémité libre de l'aiguille épidurale après avoir introduit cette dernière dans le ligament interépineux. La progression de l'aiguille est alors poursuivie jusqu'au franchissement du ligament jaune, où la dépression créée à la pénétration dans l'espace épidural aspire la goutte dans le fût de l'aiguille, témoignant du bon positionnement de la pointe. La technique du ballonnet de Macintosh consiste à monter de manière étanche sur l'extrémité libre de l'aiguille épidurale, préalablement introduite dans le ligament interépineux, un ballonnet gonflé de 1-2 mL d'air. À la pénétration dans l'espace épidural, la dépression créée provoque la déflation brutale du ballonnet.

La technique de localisation la plus courante, en particulier aux niveaux lombaires et sacrés, est la recherche d'une perte de résistance à la pression. La technique consiste à connecter une seringue, en verre ou en plastique, dont le piston coulisse sans frottement mais de manière étanche, à l'aiguille épidurale. La seringue est remplie d'un faible volume de gaz ou de liquide et l'ensemble seringue-aiguille est introduit dans l'espace

interépineux en direction du ligament jaune tandis que l'on exerce une pression discontinue (gaz) ou continue (liquide) sur le piston de la seringue. Au franchissement du ligament jaune, on perçoit une perte de résistance nette qui se traduit par un brusque enfoncement du piston de la seringue.

Le contenu de la seringue de détection a fait l'objet de nombreuses publications. L'air ambiant est l'une des deux options les plus utilisées. Il a pour lui la disponibilité immédiate, la simplicité de la réalisation technique et surtout la meilleure précision de localisation des structures traversées du fait de sa compressibilité [164-166]. Il a contre lui sa composition incertaine, en particulier sur le plan bactériologique, bien qu'il n'y ait pas eu de publications faisant état de complications infectieuses liées directement à son utilisation. Par le passé, l'air a souvent été utilisé dans les explorations neuroradiologiques du système cavitaire cérébral (encéphalographie gazeuse) et sa présence dans l'espace épidural peut s'observer au cours de pathologies et accidents divers [167-170] sans conséquences cliniques nécessairement fâcheuses. Toutefois, depuis une dizaine d'années, plusieurs publications font état de complications ponctuelles attribuées à son utilisation comme moyen de localisation de l'espace épidural. Certaines sont mineures comme les céphalées transitoires [171], les anomalies de distribution de l'anesthésie consécutive à la présence de bulles d'air épidurales [172, 173] qui persistent plus de 24 heures [174]. D'autres sont majeures et engagent le pronostic fonctionnel voire vital : compression médullaire [175, 176], syndrome multiradiculaire [177], emphysème cervical sous-cutané [178] embolie gazeuse dont la fréquence avancée dans certains travaux [179] est totalement contredite par d'autres en tous points similaires [180] à l'exception du volume d'air injecté (5 mL dans la première étude contre 2 mL dans la seconde). Plusieurs publications font état de telles complications chez l'enfant [181-183], même après la technique de la goutte pendante [184]. Elles ont conduit certains auteurs à recommander l'abandon de cette technique de détection au profit de la technique faisant appel à un liquide [2]. Un travail [185], s'il établit la fréquence du passage intraveineux de microbulles, facilement épurées par la circulation pulmonaire chez le patient ne présentant pas de shunt intracardiaque, a également montré l'absence d'embolie gazeuse significative après l'injection rapide de 5 mL d'air, par une technique échographique de dépistage très sensible. Ce travail a également montré, ce qui est moins connu, l'existence constante d'un passage intravasculaire rapide (en 15 secondes) des solutions (soluté salé isotonique ou AL) injectées dans l'espace épidural, ce qui doit conduire à prêter davantage d'attention peut-être à la vitesse (et la pression) d'injection et au volume injecté [185, 186] dans cet espace qu'au contenu de la seringue de détection proprement dit.

La détection liquidienne, largement utilisée chez l'adulte, n'a pas fait l'objet de nombreuses publications rapportant des complications. Sa fiabilité chez le grand enfant et l'adulte est excellente, mais il n'en va pas de même chez le nourrisson et le jeune enfant, dont les tissus sont plus lâches et laissent moins percevoir des changements de résistance qui sont peu marqués. Le recours à une détection hydrique pose la question de sa composition, solution AL, ne contenant pas de bupivacaïne habituellement, ou soluté salé isotonique le plus souvent. Indépendamment des problèmes de manipulation de seringues [187] avec divers contenus liquidiens d'aspect semblable, la technique expose à trois risques de gravité variable selon l'âge : 1) dilution de la solution AL finale qui peut être importante chez le petit nourrisson où le volume nécessaire à la détection peut représenter plus du quart du volume final injecté ; 2) augmentation du volume total injecté avec extension du bloc à des niveaux trop haut situés (risque de dépression respiratoire) ; 3) risque de banalisation du reflux liquidien habituellement constaté avec méconnaissance d'une brèche dure-mérienne. En effet, le reflux de LCR n'est identifiable que par des méthodes relativement compliquées et bactériologiquement risquées telles que la recherche de glucose sur bandelette réactive ou le test de précipitation au thiopental, qui peut du reste être pris en défaut [188], voire des méthodes beaucoup plus complexes [189] qui témoignent bien de la réalité et de la difficulté du problème. La méconnaissance d'une brèche dure-mérienne expose en effet à l'injection sous-arachnoïdienne massive de la solution d'AL.

Certains auteurs, cherchant à combiner les avantages des deux techniques ont proposé d'utiliser une technique mixte, mêlant air et soluté salé isotonique [182, 190-192]. Lorsque la seringue est maintenue dans un strict plan horizontal, toute pression exercée sur le piston réduit le volume de la bulle tant qu'une résistance ligamentaire existe au niveau du biseau. Lors du franchissement du ligament jaune, la perte de résistance à l'injection et l'absence de déformation de la bulle d'air lors de la pression du piston de la seringue permettent de localiser l'espace épidural. Certains ont imaginé des systèmes plus complexes encore faisant appel à l'installation d'une ligne de perfusion reliée à l'aiguille épidurale [193]. Des méthodes aussi complexes, et leurs évidents risques bactériologiques, ne semblent pas devoir être préconisées en routine.

En définitive, s'il existe un consensus sur le principe de localiser l'espace épidural par la recherche d'une perte de résistance au franchissement du ligament jaune

à l'aide d'une seringue de détection, le choix du substrat à utiliser fait l'objet d'avis partagés. La détection liquidienne au soluté salé isotonique est fiable chez le grand enfant et n'a pas donné lieu à publication de nombreuses complications en dépit de risques potentiels bien réels ; dans l'état actuel des connaissances, elle semble devoir être systématiquement préférée à la détection à l'air dans ces tranches d'âge. Chez le petit nourrisson et le jeune enfant, la détection liquidienne offre un degré moindre de fiabilité et le risque de méconnaître une ponction dure-mérienne (complication observée avec une relativement grande fréquence dans l'enquête ADARPEF [1]) doit être sérieusement mis en balance avec les risques non moins réels des accidents, documentés, de la détection à l'air. Une utilisation correcte de la technique [194-196], et le remplacement de l'air (dont la faible solubilité sanguine et tissulaire, et la faible diffusibilité sont cause des complications rapportées) par du CO_2 médical (stérile voire bactéricide, fortement diffusible et soluble, aisément disponible dans tout bloc pédiatrique avec le développement de la chirurgie cœlioscopique) comme déjà décrit il y a plusieurs années [197], constituent probablement le meilleur facteur de sécurité.

Anesthésie caudale

La localisation de l'espace épidural caudal a été réalisée par de nombreuses techniques et avec des aiguilles diverses. Le « test à l'air » a été préconisé par certains pour garantir le bon positionnement de l'aiguille. La technique, transposée de la détection aérique utilisée pour l'anesthésie épidurale lombaire, consistait à mettre en évidence une absence de résistance à l'injection d'air, que l'on pouvait également confirmer à l'oreille en plaçant un stéthoscope en amont sur le canal spinal sacré ou lombaire. Bien que cette technique ait été utilisée avec succès et sans incident apparent sur des milliers d'enfants, des complications ont été rapportées [183] et la poursuite de son utilisation est formellement déconseillée en raison du rapport bénéfice/risque. La membrane sacrococcygienne, continuation du ligament jaune, donne directement accès au canal spinal sacré à un niveau où n'existe plus ni dure-mère ni cône médullaire. Il n'existe pas d'espace autre que l'espace épidural sacré dans lequel introduire l'aiguille et injecter la solution d'AL sans résistance ; il est donc inutile de chercher à injecter autre chose que la solution anesthésique une fois l'aiguille présumée en place. En cas d'erreur, l'aiguille ne peut qu'être en position sous-cutanée et le début d'injection se traduit par une tuméfaction facilement reconnaissable et sans conséquences dommageables pour l'enfant. Une pénétration osseuse, théoriquement possible, est le signe d'une technique grossièrement fautive et qui n'aurait pas été évitée par « le test à l'air ». En conséquence, ce « test » n'apporte pas d'élément diagnostique positif supplémentaire par rapport à l'introduction simple de l'aiguille (avec perception habituellement nette du franchissement de la membrane sacrococcygienne) et peut parfois conduire à des complications aussi graves qu'une paraplégie définitive [7]. En l'état des données actuelles de la science, la méthode ne doit plus être utilisée. La vérification de la facilité d'injection peut être réalisée avec du soluté salé isotonique.

QUESTION N° 6
CHOIX DES MATÉRIELS. AIGUILLES : LAQUELLE CHOISIR, POUR QUELLE TECHNIQUE ET À QUEL ÂGE ? CATHÉTERS : QUELLES INDICATIONS, QUELLES TECHNIQUES, QUELLE LONGUEUR INTRODUIRE, QUELLE DURÉE DE MAINTIEN EN PLACE ?

Choix des aiguilles en fonction des techniques et de l'âge de l'enfant

Généralités

Avant que ne soit mis sur le marché un matériel spécifique à l'enfant, différentes aiguilles ont été utilisées [198]. Les accidents rapportés dans l'enquête de l'ADARPEF [1] sur l'ALR en pédiatrie n'ont concerné que des blocs périmédullaires, dont la morbidité s'établit à 1,5 ‰ (23 sur 15 013 actes). Dans 11 des 23 complications rapportées, un matériel inadapté ou mal utilisé était directement en cause. Les données de la littérature sont peu nombreuses mais permettent cependant de déconseiller certains types de matériel. La nécessité d'utiliser des aiguilles à mandrin plein est reconnue depuis que la preuve a été apportée de greffes de cellules épidermiques, transportées par des aiguilles sans mandrin ou à mandrin creux dans l'espace sous-arachnoïdien [199]. Il ne faut pas ignorer cependant que des tumeurs dans le canal spinal peuvent avoir aussi une origine congénitale [200]. De même, les aiguilles à embase transparente permettent de visualiser plus rapidement un reflux de sang ou de LCR.

Matériel pour l'anesthésie caudale

Chez l'enfant, le cul-de-sac dural se termine à la hauteur des foramens sacrés de S3 à la naissance et de S2 en fin de croissance, ce qui implique que la longueur de l'aiguille caudale ne dépasse pas 4 cm. Pour ce qui concerne le choix du biseau, une étude sur 750 patients [24] a montré qu'il y avait moins d'effractions vasculaires

avec une aiguille à biseau court. Une étude plus récente sur 623 patients [201] a montré que si le choix du biseau n'a pas d'incidence significative sur le taux de réussite des ponctions caudales, ce choix a une incidence importante sur le taux d'effraction vasculaire, allant de plus de 10 % dans une étude [201] contre moins de 1,5 % dans l'autre [24]. Les aiguilles à biseau long, qui augmentent de façon significative le risque de ponction sanglante et donc d'injection intravasculaire, sont de ce fait déconseillées. Ces deux études ainsi que l'enquête de l'ADARPEF sur la pratique de l'anesthésie caudale conduisent à recommander l'utilisation des : a) aiguilles de caudale de G 25 de 3 cm de long ; b) aiguilles à ponction lombaire de G 22 de 4 cm de long ou de G 25 et de 2,5 cm de long, munies d'une embase transparente.

En ALR, la taille de l'aiguille est généralement choisie en fonction de l'âge de l'enfant. Pour l'anesthésie caudale, il n'est pas nécessaire de modifier les tailles d'aiguilles en fonction de l'âge. Les G 22 ou 25 peuvent être utilisées de la période néonatale à l'adolescence.

Matériel pour l'anesthésie épidurale

De la même façon que pour l'anesthésie caudale, le matériel disponible pour les anesthésies épidurales chez l'enfant est devenu spécifique [198]. La ponction de l'espace épidural se fait exclusivement, avec des aiguilles développées pour cela, c'est-à-dire : d'une longueur appropriée à la profondeur de l'espace à atteindre, d'un diamètre raisonnable (diamètre compris entre 22 et 18 G) [1], munies d'un mandrin obturateur borgne et dont l'extrémité a été usinée pour la rendre la moins traumatisante possible. Les aiguilles à biseau court et droit (aiguilles de Crawford) ou dont l'extrémité est en pointe crayon (aiguilles de Whitacre, Sprotte) sont utilisables, mais les aiguilles qui ont la faveur de l'immense majorité des anesthésistes-pédiatres pour leur facilité et leur sécurité d'utilisation et leur coût de fabrication acceptable sont les aiguilles à biseau court recourbé de Tuohy. Contrairement à l'anesthésie caudale, le poids et l'âge sont des facteurs déterminants pour le choix de la taille de l'aiguille épidurale. La distance peau /espace épidural est bien documentée, par exemple au niveau de L2/L3, la distance en mm est égale à : (âge en années x 2) +10, et il n'y a donc aucun intérêt à utiliser des aiguilles de plus de 5 cm chez les enfants de moins de 10 ans.

L'aiguille qui paraît la mieux adaptée est une aiguille de Tuohy graduée tous les 5 mm d'une longueur de 30 mm (22 G), 50 mm (pour les calibres compris entre 20 et 18 G) et de 80 à 100 mm (18 G). En fonction de l'âge et du poids, on peut recommander :

– pour le prématuré ou nouveau-né de moins de 4 kg : une aiguille de Tuohy de G 22 ou G 20 ;
– pour l'enfant de moins de 2 ans (< 15 kg) : une aiguille de Tuohy de 20 ou 19 G et de 50 mm de long ;
– pour l'enfant de moins de 10 ans (< 30 kg) : une aiguille à extrémité de Tuohy de 20 G, 19 G ou 18 G, de 50 mm de long ;
– pour l'enfant de plus de 10 ans (> 30 kg) : une aiguille de Tuohy de 19 G ou 18 G de 50 ou de 80 à 100 mm de long.

Des cathéters de taille appropriée, en polyamide ou en polyuréthane, sont disponibles pour les différentes aiguilles épidurales. Les cathéters avec mandrin sont potentiellement dangereux : et si on les utilise, il faut s'assurer que le mandrin ne soit pas introduit dans l'espace épidural mais reste dans l'aiguille. Il est préférable que les cathéters soient gradués à partir du deuxième centimètre. Pour la majorité d'entre eux, la double barre est à 5 cm, alors que pour d'autres elle se situe à 10 cm. Une standardisation des repères entre les différents fabriquants est souhaitable afin de diminuer les risques d'erreur de placement même si à ce jour, contrairement aux cathéters de rachianesthésie, il n'a pas été rapporté d'accidents liés directement aux cathéters par voie épidurale [1, 6].

Matériel pour l'anesthésie spinale (rachianesthésie)

La technique de l'anesthésie spinale est identique à celle de la ponction lombaire ce qui explique que le matériel utilisé au début était celui recommandé pour les ponctions lombaires [202, 203]. Bénéficiant des développements industriels dans l'usinage des aiguilles à ponction lombaire, les aiguilles spinales pédiatriques ont offert dès le départ, de bonnes conditions de sécurité [198, 204]. Trois types principaux de biseaux sont disponibles pour les aiguilles spinales : a) le biseau de Quincke : court, coupant, à orifice distal ; b) la pointe crayon : bout mousse à orifice reculé ; c) le double biseau : zone coupante suivie d'une zone non coupante à orifice distal.

Les aiguilles spinales ont été adaptées à l'usage pédiatrique et elles sont commercialisées dans les longueurs suivantes : 2,5 cm, 4 cm, 5 cm et 8,8 cm. En l'absence de données numériques suffisantes sur la fréquence et l'intensité des céphalées après ponction lombaire chez l'enfant, il est difficile de recommander ou d'exclure un type de pointe ou de calibre d'aiguille. Les aiguilles à pointe crayon semblent présenter un grand intérêt chez l'adulte quant aux risques de céphalées après anesthésie spinale. Chez l'enfant, cet avantage n'est pas démontré et de plus, le décalage de l'orifice par rapport à l'extrémité de l'aiguille, même de G 27, fait courir le risque d'une injection à cheval sur la

dure-mère, surtout chez le prématuré ou le nourrisson. En outre les aiguilles à pointe crayon sont responsables, sur un modèle expérimental, de pics de concentration plus élevés dans le LCR que ceux obtenus après une ponction avec une aiguille à biseau de type Quincke [205, 206] et semblent augmenter l'incidence du risque d'anesthésie sous-durale, par décollement de l'arachnoïde d'avec la dure-mère.

En l'état actuel de nos connaissances, il semble légitime de recommander :
– pour le prématuré de moins de 2 kg : l'aiguille à ponction lombaire néonatale de G 25, et l'aiguille G 26 à double biseau atraumatique d'une longueur de 2,5 cm ;
– pour l'enfant de plus de 2 kg : l'aiguille à ponction lombaire à biseau de Quincke de G 22 et de 4 cm de long ou l'aiguille à double biseau de G 26 ;
– pour le grand enfant : l'aiguille à double biseau atraumatique de G 22 ou de G 25 d'une longueur de 8,8 cm et aussi, les aiguilles à biseau pointe crayon de G 25 ou G 27 d'une longueur de 8,8 cm [207].

Matériel pour les blocs périphériques

La pratique des blocs périphériques chez l'enfant est d'apparition plus récente que celle des blocs centraux, et le matériel utilisé a d'emblée bénéficié des études portant sur le matériel adulte [198]. La pratique actuelle est d'utiliser des biseaux courts malgré les conclusions d'un travail expérimental [208]. Cette étude chez le rat, à l'opposé des conditions anatomiques cliniques, n'autorise pas à conclure à l'intérêt des biseaux longs en pratique clinique et met en évidence la nécessité de travaux cliniques ultérieurs.

La longueur de l'aiguille doit être adaptée à la position anatomique du nerf. La majorité des blocs étant réalisés sous AG, l'utilisation d'un neurostimulateur est recommandée lorsque le nerf concerné a une composante motrice. L'aiguille utilisable avec un neurostimulateur doit être gainée, reliée à un prolongateur souple permettant l'injection et à un câble électrique raccordé au neurostimulateur (voir question 5). L'utilisation d'aiguilles non isolées, recommandée par certains auteurs [160], assure une localisation moins précise et fait courir le risque d'une lésion nerveuse [208, 209].

En l'état actuel de nos connaissances, il paraît logique de recommander :
– pour le bloc iliohypogastrique et ilio-inguinal, les blocs de la face, le bloc para-ombilical, le bloc du nerf pudendal/périnéal, le bloc pénien : une aiguille sous-cutanée de 3 cm de long et de G 23 ; les aiguilles à biseau court de G 24 sont bien adaptées au bloc iliofascial et représentent une excellente alternative pour les blocs ilioinguinaux ;
– pour les blocs digitaux : une aiguille intradermique de G 25 ;
– pour le bloc fémoral et le bloc du plexus brachial : une aiguille isolée de G 24 et de 2,5 cm de long ou de G 22 et 5 cm de long chez les grands enfants ;
– pour le bloc sciatique : une aiguille isolée de G 21 et de 100 à 180 mm de long selon l'âge et la voie utilisée ;
– pour le bloc interpleural : un raccord en Y avec un ballon pour identifier l'espace interpleural, une aiguille de Tuohy, un cathéter épidural et un filtre. Un set complet est disponible. Lors d'une thoracotomie la mise en place du cathéter peut se faire sous contrôle de la vue à l'aide d'un cathéter veineux dans lequel sera introduit un cathéter épidural.

Choix d'un cathéter et de sa longueur d'introduction, en fonction de la technique, de l'indication et de l'âge

Indications

La mise en place d'un cathéter est justifiée dans les cas où la durée de l'intervention doit dépasser 3 heures, ou est indéterminée. Elle est également indiquée lorsque l'analgésie postopératoire doit être assurée par une ALR. Occasionnellement il peut être utile de mettre en place un cathéter pour atteindre un niveau plus haut situé, lombaire voire thoracique, que le point d'abord épidural [29, 210] (voir question 8).

Techniques se prêtant à la mise en place de cathéters

L'anesthésie épidurale

Le niveau de ponction dépend du niveau du site d'intervention :
– anesthésie caudale : chirurgie abdominopérinéale ; si besoin, un cathéter peut être mis en place seulement pour la durée de la chirurgie. Il est conseillé de le retirer en fin d'intervention, afin d'éviter une possible contamination due à la proximité de l'anus ;
– anesthésie épidurale lombaire : chirurgie abdominale sous-mésocolique ;
– anesthésie épidurale basithoracique : chirurgie sus-mésocolique ;
– anesthésie épidurale thoracique : réservée à des anesthésistes entraînés à cette technique, pour la chirurgie pulmonaire ou médiastinale.

Anesthésie spinale

Malgré quelques travaux [211] et en raison de l'insuffisance de nos connaissances sur les éventuelles complications des anesthésies spinales continues chez l'enfant [212], il n'y a pas à ce jour d'intérêt clinique évident à utiliser des cathéters sous-arachnoïdiens en pédiatrie.

Blocs périphériques
Il est possible de mettre en place des cathéters de réinjection pour l'entretien de l'analgésie postopératoire. La technique est encore peu utilisée en pédiatrie et les matériels disponibles ne sont pas nombreux. Chez le grand enfant il est possible d'utiliser les cathéters pour adulte, en polyamide, qui peuvent être introduit dans une canule de G 18 et de 4, 4 cm de long montée sur une aiguille de G 20 à biseau de 30°. Un set complet est disponible.

Longueur à introduire
La longueur de cathéter à introduire dans l'espace épidural doit être à la fois courte, pour ne pas traumatiser la dure-mère, et suffisante pour garantir son bon positionnement dans l'espace épidural. Une longueur de 1,5 cm paraît être le meilleur compromis. En outre, plus la longueur de cathéter introduite dans l'espace est importante, plus grands sont les risques de fausse route, de boucle, de formation de nœud qui risquent de gêner le retrait.

En l'état actuel de nos connaissances nous recommandons d'introduire une longueur de 3 cm pour les cathéters multiperforés [213] et 2 cm pour les cathéters à orifice distal unique, si la ponction est faite au niveau métamérique de l'intervention. Lorsqu'un niveau de ponction plus bas (caudal ou lombaire) a été choisi pour une chirurgie thoraco-abdominale ou thoracique, le niveau du cathéter devra être contrôlé par une radiographie.

Durée du maintien en place
La durée du maintien en place d'un cathéter dépend de plusieurs facteurs : durée de l'analgésie nécessaire, risque infectieux, moyens de surveillance. Pour la voie caudale, il semble prudent de recommander l'ablation précoce du cathéter, en raison des risques septiques potentiels liés à la proximité de l'anus. Pour la voie épidurale lombaire ou thoracique, s'il s'agit d'analgésie postopératoire, 48 heures de maintien en place sont généralement suffisantes. Inversement, dans le cas de douleurs chroniques et en oncologie, cette durée peut être augmentée considérablement. Pour les blocs périphériques chez l'enfant, la difficulté réside surtout dans le maintien en place du cathéter et il est rare de dépasser 48 heures.

QUESTION N° 7
COMPLICATIONS DES BLOCS CENTRAUX ET PÉRIPHÉRIQUES. DIAGNOSTIC, TRAITEMENT ET PRÉVENTION

Les complications de l'ALR chez l'enfant sont peu fréquentes mais leur incidence n'est pas nulle. Elles ont fait l'objet de publications sous la forme de cas cliniques et d'études sur des séries plus ou moins homogènes de patients. Dans l'enquête de l'ADARPEF, un geste d'ALR (60 % de blocs centraux et environ 40 % de blocs périphériques et d'anesthésies locales) était effectué dans près de 30 % des anesthésies pédiatriques. La morbidité globale s'établissait à 9/10 000, avec une incidence de complications égale à 15/10 000 pour les blocs centraux et nulle pour les blocs périphériques [1]. Cette étude ne permet pas répondre à toutes les questions, mais son impact est majeur car il s'agit de la première enquête épidémiologique prospective à grande échelle sur le sujet en anesthésie pédiatrique. Les conclusions que l'on peut en tirer sont claires et statistiquement validées, les complications de l'ALR chez l'enfant sont rares et mettent exceptionnellement le pronostic vital en jeu ; elles sont encore plus exceptionnelles avec les blocs périphériques [214]. Pour inhabituelles qu'elles soient, les complications n'en sont pas moins réelles et doivent être connues de tous ceux qui pratiquent l'ALR en pédiatrie. Dans plus de la moitié des cas, elles auraient pu être évitées avec l'utilisation d'un matériel adapté [1].

Complications des blocs centraux

Complications liées à la technique

Anesthésie épidurale (péridurale)
• *Complications liées à la ponction*
L'effraction de la dure-mère est la complication la plus souvent rapportée. Dans l'enquête de l'ADARPEF, huit effractions de la dure-mère sur plus de 15 000 blocs centraux ont été signalées. Ce chiffre faible atteste de la relative rareté de cet incident dans des mains expérimentées. Pour certains auteurs, l'effraction de la dure-mère au cours des anesthésies épidurales lombaires survient avec une fréquence voisine de 1 % chez l'enfant de plus de 1 an alors qu'elle est estimée à 2,5 % chez l'adulte [215, 216]. La ponction dure-mérienne peut également survenir lors d'un bloc caudal, avec une fréquence estimée à 0,3 % des cas dans certaines séries [24] : elle est largement favorisée par les variations anatomiques du canal sacré et en particulier de la distance membrane sacrococcygienne - cul-de-sac dural [217].

L'anesthésie spinale totale est la complication la plus redoutée. Elle est secondaire à l'injection dans l'espace sous-arachnoïdien d'un volume important d'anesthésique local, lors d'une brèche méconnue de la dure-mère. Dans une observation chez un nourrisson, elle a été mise sur le compte d'une fuite à travers la dure-mère lésée lors d'une tentative préalable d'anesthésie spinale

[218]. La symptomatologie apparaît brutalement et associe un arrêt respiratoire à une bradycardie, souvent accompagnée d'une diminution de la pression artérielle pouvant aller jusqu'au collapsus chez le grand enfant, et une anisocorie ou même une mydriase bilatérale. Chez l'enfant sous AG avec assistance respiratoire, les troubles hémodynamiques et les modifications pupillaires sont au premier plan. La prise en charge associe intubation, ventilation contrôlée, expansion volémique et, si nécessaire, des vasopresseurs. La durée de l'anesthésie spinale totale est en général assez brève, entre 90 et 120 minutes [219].

Les céphalées secondaires à une brèche dure-mérienne sont rares en pédiatrie [220]. Elles sont exceptionnelles chez l'enfant de moins de 10 ans et peu fréquentes avant la puberté. Elles sont abordées dans le chapitre suivant.

L'injection sous-durale est une complication bien décrite chez l'adulte, mais dont l'incidence n'est pas connue chez l'enfant. Elle se manifeste par l'installation en 25 à 30 minutes d'un bloc sensitif très étendu. L'extension de l'anesthésie intéresse souvent les dernières paires crâniennes, il n'y a pas de bloc moteur, ni de retentissement hémodynamique ni d'anisocorie. La durée du bloc, 1 heure environ, parfois davantage, est très courte par rapport à une anesthésie épidurale mais plus longue que celle d'une anesthésie spinale [219, 221].

L'effraction vasculaire survient avec une fréquence variable selon les études, entre 1,6 et 11 % [24, 135, 201]. Sa fréquence est réduite avec des aiguilles spécifiques [24] ; mais le risque de la méconnaître est plus grand chez l'enfant de moins de 10 kg [135]. Une effraction vasculaire expose au risque d'injection intravasculaire et de toxicité systémique. En cas de ponction sanglante lors d'un abord caudal (effraction vasculaire ou osseuse), une deuxième tentative est pratiquée par la majorité des anesthésistes [222]. Le même incident lors d'un abord épidural lombaire doit conduire à changer d'espace intervertébral pour une nouvelle tentative. Si celle-ci ramène également du sang, la technique doit être abandonnée.

• *Complications neurologiques des blocs centraux*

Lésions directes des racines et de la moelle. Ces lésions traumatiques, liées à la ponction, sont exceptionnelles. Elles sont difficiles à mettre en évidence. La réalisation de la technique sous AG risque de masquer les douleurs radiculaires et les paresthésies évocatrices de traumatisme nerveux. La stimulation directe des racines spinales peut entraîner un réflexe d'axone avec hyperréactivité sympathique systématisée au territoire nerveux [2, 223]. Dans l'enquête de l'ADARPEF les deux cas de paresthésies postopératoires transitoires ont régressé en totalité [1]. Cependant, des troubles permanents ont été rapportés [224].

Lésions vasculaires. La survenue d'un hématome compressif est une complication redoutable, car elle expose au risque d'ischémie médullaire et d'atteinte neurologique définitive. Dans la période postopératoire, les signes évocateurs sont des paresthésies, des dysesthésies, une faiblesse musculaire ou encore une para- ou tétraplégie flasque et des troubles sphinctériens [7]. Un bilan des lésions s'impose en urgence par un myéloscanographie et surtout une IRM. Un drainage chirurgical de l'hématome, voire une laminectomie de décompression en urgence sont les seuls gestes qui peuvent permettre une récupération neurologique complète. Un trouble congénital ou acquis de l'hémostase favorise ce type de complication. Dans une observation, c'est la survenue d'un hématome compressif secondaire à une ponction lombaire à visée diagnostique qui a révélé une hémophilie A [225]. Sur une série de 18 000 patients [226], les trois adultes qui ont présenté un hématome intracanalaire après bloc central avaient des troubles acquis de l'hémostase.

Collection périmédullaire sous tension (bulle d'air ou abcès). Elle peut entraîner une compression médullaire et/ou radiculaire [176], exposant aux mêmes complications et devant bénéficier du même traitement urgent que les hématomes compressifs.

Lésions ischémiques médullaires. Elles sont les plus graves. Elles peuvent être secondaires à un traumatisme, à une compression, à un syndrome de l'artère spinale antérieure lors de troubles hémodynamiques, notamment chez les patients dont la vascularisation médullaire basithoracique et lombaire est dépendante d'une seule artère radiculaire (l'artère d'Adamkiewicz, du côté gauche en général). Ce syndrome peut être la conséquence d'une lésion chirurgicale et a parfois été mis, de manière très hypothétique [102], sur le compte d'une vasoconstriction secondaire à l'administration d'AL adrénalinés. Les signes cliniques sont ceux d'une paraplégie flasque massive d'emblée et c'est l'imagerie précoce et secondairement répétée qui permet le diagnostic différentiel avec un hématome compressif [2]. Le ramollissement médullaire n'est accessible à aucune thérapeutique et ne laisse aucun espoir d'amélioration.

Fréquence des complications neurologiques liées à la technique. Prévention

Les complications neurologiques sont rares mais redoutables, du fait du risque de décès ou de séquelles majeures. Dans l'enquête de l'ADARPEF, aucune complication de cette gravité n'a été rapportée. Dans une autre étude rétrospective sur une période de 10 ans, cinq complications neurologiques graves ont été rapportées : trois tétraplégies flasques, une paraplégie

flasque, une ischémie cérébrale. L'étiopathogénie de ces complications est incertaine et l'imputation des complications à l'ALR peu évidente. Les causes évoquées étaient une embolie gazeuse dans un territoire artériel médullaire ou cérébral, un vasospasme local hypothétiquement imputé à l'adrénaline de la solution injectée, ou encore une falciformation chez des enfants drépanocytaires [7, 227].

La prévention des lésions neurologiques lors des blocs centraux repose sur l'utilisation d'aiguilles adaptées, leur insertion lente avec une technique de détection continue de l'espace épidural, une bonne connaissance de l'anatomie et des variations liées au développement, l'absence de résistance lors de l'injection de l'AL, l'abandon de la procédure au moindre doute, et un suivi rapproché de l'enfant suspect d'une atteinte lésionnelle [2]. La recherche d'une anomalie de l'hémostase lors de la consultation d'anesthésie et l'abstention de toute ponction au niveau d'une lésion cutanée (hémangiome, lipome, appendice cutané, etc) sont des éléments importants pour la prévention des complications neurologiques. La découverte d'une lésion neurologique au décours d'un bloc central doit faire également envisager l'hypothèse d'une complication chirurgicale (compression vasculaire ou nerveuse par les écarteurs), d'une mauvaise protection des points de pression lors de l'installation du malade (position gynécologique et décubitus ventral notamment), d'une ischémie secondaire à l'utilisation mal contrôlée d'un garrot ou encore à un alitement prolongé [228].

• *Infection des différents espaces périmédullaires*

Toutes les structures et espaces périmédullaires peuvent être le siège d'une infection : abcès épiduraux, méningites, épidurites, discites, ostéites. Les infections secondaires à une injection unique ou à la mise en place d'un cathéter épidural de courte durée sont exceptionnelles [4, 229-231]. La mise en place d'un cathéter par voie caudale expose à un risque infectieux, notamment chez les enfants les plus jeunes. Ce risque majoré, bien que non formellement démontré, semble être le résultat d'une augmentation de la fréquence de colonisation des cathéters par voie caudale (20 %) par rapport aux cathéters lombaires (4 %), en raison de la proximité de la région anale [232]. Le respect rigoureux des règles d'asepsie lors de la ponction et le renoncement à la technique en cas de lésion au point de ponction ou de suspicion de bactériémie, permettent de réduire ce risque. L'utilisation d'un filtre antibactérien est recommandée [218]. L'infection de l'espace péridural peut se manifester par l'association à des degrés divers des signes suivants : fièvre, douleur au site d'injection, collection fluctuante sous le point de ponction, baisse de la qualité de l'analgésie, lombalgies (voir question 9).

• *Ponctions erratiques*

Elles sont toujours possibles. L'injection sous-cutanée est la plus fréquente. Elle a comme principale conséquence l'absence d'efficacité. L'injection intra-osseuse expose au risque de toxicité systémique des AL (cf infra). On a décrit des cas de ponction rectale et d'injection paravertébrale [218]. En cas de nouvelle injection, la dose d'AL déjà injectée dans un site erroné doit être prise en compte pour le calcul de la dose totale acceptable de manière à éviter tout surdosage.

• *Autres complications*

Une hypertension intracrânienne transitoire secondaire à une injection trop rapide lors d'une anesthésie caudale a été décrite : la symptomatologie a associé un arrêt respiratoire avec mydriase bilatérale, sans instabilité hémodynamique, avec récupération complète en 1 heure [233].

• *Complications liées à la localisation de l'espace épidural par test à l'air*

L'embolie gazeuse se manifeste quelques secondes après l'injection d'air par une tachycardie, un collapsus, une hypoxie avec une baisse de la $FETCO_2$ et une élévation de la PaO_2 sur la gazométrie. Deux cas ont été rapportés chez des nourrissons, l'un après anesthésie caudale, l'autre après anesthésie épidurale lombaire. Dans l'un, le volume d'air injecté ne dépassait pas 3 mL [181, 183]. Les conditions favorisant l'embolie gazeuse sont la distension des plexus épiduraux, l'utilisation de matériel de grand diamètre, l'existence d'une pression faible dans l'espace épidural, la création d'un gradient de pression entre la pression de l'air injecté par la seringue et la pression veineuse, et la faible compliance de l'espace épidural [182]. Une embolie gazeuse « paradoxale » est théoriquement possible, en cas de shunt intracardiaque (réouverture du foramen ovale).

Les bulles d'air épidurales secondaires au test à l'air peuvent entraîner une anesthésie incomplète, mal distribuée, par diminution de l'action des AL sur les structures nerveuses. Ces bulles ont été bien mises en évidence lors d'épidurographies [172]. L'inhalation de protoxyde d'azote peut augmenter la taille des bulles.

• *Complications mécaniques du cathéter*

Un cas de séquestration d'un cathéter mis en place par voie caudale a été rapporté chez un nourrisson de 10 kg [234], ce qui souligne l'importance qu'il y a à vérifier l'intégrité du cathéter lors de son retrait. Si le cathéter n'est pas intact, la partie manquante doit être localisée par un examen tomodensitométrique ou une IRM. Si elle est localisée dans l'espace sous-cutané, il vaut mieux l'enlever, chirurgicalement au besoin. Si elle est située dans l'espace épidural, l'attitude est plus controversée. L'attentisme prévaut souvent chez l'adulte. L'abord chirurgical (laminectomie exploratrice) peut

s'envisager chez l'enfant pour certains [234], en raison de sa longue espérance de vie et du risque de voir se développer une sténose lombaire. Les autres complications mécaniques sont traitées dans la question 9 (surveillance postopératoire).

Anesthésie spinale (rachianesthésie)
L'anesthésie spinale représente 2,1 % de l'ensemble des ALR pédiatriques dans l'enquête de l'ADARPEF [1]. Elle est surtout utilisée chez l'ancien prématuré car elle permet de diminuer l'incidence des apnées postopératoires [235], à condition d'être réalisée sans AG, ni sédation de complément.
Niveau sensitif trop élevé
L'extension du bloc sensitif est parfois imprévisible lors des anesthésies spinales du nourrisson. Dans une étude de 164 enfants, le niveau sensitif était au-delà de T5 dans 2/3 cas [236]. Dans une autre, il était à T3 [73]. L'extension du bloc au-delà de ces limites est possible et peut entraîner des complications respiratoires et hémodynamiques, avec une incidence de 8 % dans certaines séries [237]. Ces complications sont favorisées par la mobilisation des membres inférieurs après la ponction [237]. L'anesthésie spinale totale est la forme majeure de cette extension excessive.
Troubles cardiovasculaires
L'anesthésie spinale est en général bien tolérée chez le nourrisson en normovolémie [238]. Au cours des 10 premières minutes suivant l'injection, la pression artérielle baisse en moyenne de 25 % mais parfois de plus de 40 % chez certains ; cette baisse répond bien à une expansion volémique [73]. Dans une étude, le seul enfant ayant présenté une instabilité hémodynamique avait fait l'objet d'une anesthésie spinale et caudale combinées [236]. La fréquence cardiaque varie peu [73]. Un collapsus avec bradycardie peut accompagner une anesthésie spinale totale par suite du blocage des fibres vasculaires sympathiques, des fibres cardioaccélératrices ou encore de la diminution de la stimulation des récepteurs sympathiques atriaux à l'étirement. L'habituelle bonne tolérance hémodynamique après anesthésie spinale chez le nourrisson serait liée à la baisse de l'activité parasympathique qui contrebalance la baisse de l'activité sympathique [238].
Troubles respiratoires
Ils sont habituellement secondaires à une paralysie des muscles intercostaux, voire du diaphragme si le niveau est supérieur à C4. L'anesthésie spinale peut entraîner une paralysie intercostale à l'origine de phénomènes de respiration paradoxale chez l'ancien prématuré [239]. L'arrêt respiratoire est la conséquence d'une anesthésie spinale totale, ou d'une hypoxie chez ces enfants immatures. Il est favorisé par l'association avec une sédation [235]. Son traitement repose sur la ventilation mécanique.
Céphalées après ponction dure-mérienne
Leur incidence n'est pas connue avec certitude chez l'enfant mais semble moins fréquente que chez l'adulte jeune en particulier [240]. Elles semblent favorisées par l'importance du diamètre de l'aiguille. Cependant, les aiguilles de moins de 25G augmentent la difficulté de ponction et le taux d'échecs sans réduire davantage celui des céphalées [241]. Leur traitement repose sur le décubitus et l'hyperhydratation. En l'absence d'amélioration, il est recommandé de réaliser un blood patch extradural avec 0,2 à 0,3 $mL \cdot kg^{-1}$ de sang autologue, qui agirait en augmentant la pression dans l'espace épidural et en colmatant la brèche dure-mérienne par le caillot de fibrine [220, 242-244].

Complications liées à la solution injectée. Diagnostic et traitement

Injection par inadvertance d'un produit non approprié
Par suite d'une erreur de seringue, les produits les plus divers et les plus toxiques ont été injectés dans l'espace épidural. L'utilisation d'un chariot spécifique à l'ALR réduit ce risque. Les produits destinés à l'injection dans un cathéter épidural doivent être étiquetés spécifiquement.

Complications systémiques liées aux anesthésiques locaux
La toxicité systémique des AL est fonction du taux plasmatique de leur fraction libre [245, 246]. Elle est liée à un surdosage, à une injection intravasculaire ou intraosseuse ou à une accumulation au cours d'une administration continue (voir question 2). Les signes neurologiques et cardiovasculaires surviennent immédiatement en cas d'injection intravasculaire ou intra-osseuse. En cas de surdosage par voie épidurale, ils apparaissent après un délai moyen de 20 minutes. La toxicité systémique est majorée par l'hypoxie, les troubles électrolytiques et l'acidose (voir question 2).
• *Convulsions*
Les signes mineurs de toxicité neurologique peuvent apparaître pour des concentrations subthérapeutiques. Chez l'enfant éveillé, les signes d'alerte sont une somnolence, une logorrhée, une dysarthrie, des paresthésies péribuccales et linguales. Chez l'enfant anesthésié et le nouveau-né ceux-ci ne sont pas identifiables. Il faut de ce fait accorder une attention particulière aux modifications de la fréquence cardiaque, du tracé électrocardiographique et de la pression artérielle, qui ont la même valeur prédictive que la survenue d'une crise

convulsive. En cas de perfusion épidurale continue de bupivacaïne, une agitation ou une irritabilité peut être révélatrice d'une accumulation et précéder une crise convulsive. Le principal risque dans ce cas serait de mettre l'agitation et l'irritabilité sur le compte d'une analgésie insuffisante et d'augmenter le débit de perfusion [247]. Le risque de convulsions est augmenté en cas de shunt droit-gauche, pulmonaire ou cardiaque (suppression du captage pulmonaire lors du premier passage) et chez l'enfant ayant des antécédents de convulsions [248].

• *Complications cardiovasculaires*

Les manifestations toxiques cardiaques apparaissent pour des concentrations supérieures à celles qui provoquent les manifestations neurologiques, sauf pour la bupivacaïne et l'étidocaïne, pour lesquelles c'est la vitesse d'injection qui semble être le principal facteur favorisant la toxicité cardiaque [88].

Les signes électriques et cliniques sont un allongement de PR, un élargissement du QRS, une bradycardie avec hypotension voire un arrêt cardiaque. Des signes précurseurs peuvent être dépistés lors de l'injection de la dose-test (voir question 4) [138, 249].

• *Fréquence des complications systémiques des anesthésiques locaux*

Cette fréquence est faible. Parmi les 15 113 blocs médullaires colligés dans l'enquête de l'ADARPEF [1] deux crises convulsives avec arythmie cardiaque ont été constatées. Toutes les deux sont survenues après une injection intravasculaire de bupivacaïne, lors d'un abord épidural, respectivement lombaire et caudal. Ces deux crises ont été brèves et n'ont entraîné aucune séquelle. Deux arythmies cardiaques sont survenues après un surdosage par voie épidurale, caudale et lombaire. Dans une grande série de 158 229 caudales, ont été rapportés deux crises convulsives, six épisodes d'hypotension, deux épisodes d'arythmies et un arrêt cardiaque [222]. D'autres séries ont confirmé la faible incidence des complications systémiques [24, 135]. Les convulsions survenant lors de l'injection épidurale continue d'AL doivent être évitées en respectant les posologies recommandées en fonction de l'âge et du poids de l'enfant [82, 247, 250] (voir questions 2 et 9).

• *Traitement des complications systémiques des anesthésiques locaux*

Traitement des complications cardiaques (voir question 2)

Traitement des convulsions

La ventilation efficace avec oxygène pur est souvent suffisante pour faire céder la crise convulsive. En cas de persistance, du diazépam (Valium®) 0,2 à 1 $mg \cdot kg^{-1}$ est injecté sans dépasser la dose cumulée de 2,5 $mg \cdot kg^{-1}$ chez un enfant dont les poumons ne sont pas ventilés. Le thiopental à la dose de 4 $mg \cdot kg^{-1}$ par voie IV lente est aussi efficace. Si les crises convulsives persistent, on associe un troisième antiépileptique tel que la phénytoïne (Dilantin®) à la dose de 5 $mg \cdot kg^{-1}$ en 30 minutes, à renouveler en cas de nécessité.

Neurotoxicité des anesthésiques locaux

Plusieurs cas de syndrome de la queue de cheval ont été rapportés chez l'adulte après anesthésie spinale continue [251]. La neurotoxicité des anesthésiques locaux à de fortes concentrations, et en particulier celle de la lidocaïne à 5 %, a été confirmée par des études expérimentales [252, 253]. Malgré une AMM dans cette indication, il n'est pas prudent d'utiliser la lidocaïne hyperbare à 5 % pure chez l'enfant. Si l'utilisation de cet agent est envisagée, il paraît sage de suivre la recommandation de la Food and Drug Administration américaine et de diluer cet AL, volume pour volume, avec le LCR de l'enfant [254]. La neurotoxicité de certains adjuvants des solutions d'AL a été établie. Dès 1953, la responsabilité du phénol, utilisé pour désinfecter les seringues réutilisables de l'époque, dans la survenue de lésions neurologiques permanentes était reconnue [155]. Les agents conservateurs et bactéricides tels le bisulfite ou le méthylparabène ont une certaine neurotoxicité spinale et devraient progressivement disparaître des solutions commerciales qui en contiennent encore [155, 255]. Enfin, la neurotoxicité des AL est favorisée par les phénomènes de maldistribution lors d'injections sous arachnoïdienne au travers de microcathéters, du moins chez le rat [252].

Insuffisance respiratoire

Une insuffisance respiratoire peut apparaître lorsque le niveau du bloc moteur est supérieur à T4 (cf supra).

Complications diverses

La prolongation du bloc moteur et la rétention d'urines sont abordées dans la question 9.

La diminution de la sensibilité et un éventuel bloc moteur partiel augmentent le risque d'escarre aux points de pression (talons, fesses) [256] qui doivent donc être régulièrement surveillés.

La méthémoglobinémie est surtout une complication de la benzocaïne et de la prilocaïne, mais parfois aussi de la lidocaïne. Cet accident a été rapporté après l'application de prilocaïne sur des nouveau-nés et des nourrissons [61, 257]. Ceux-ci sont particulièrement exposés à cette complication car ils ont un déficit en NADH réductase. Une cyanose apparaît à partir d'une méthémoglobinémie supérieure ou égale à 20 %, des signes d'hypoxie cellulaire pour des valeurs supérieures. Le traitement des formes symptomatiques repose sur

l'injection IV lente de 1 à 2 mg·kg^{-1} de bleu de méthylène, dose qui sera répétée 1 heure plus tard si les symptômes persistent.

Les réactions allergiques et anaphylactoïdes imputables aux anesthésiques locaux sans conservateur sont rarissimes, surtout avec les amino-amides, et n'ont pas été rapportées chez l'enfant [258, 259].

Complications liées aux adjuvants

• *Morphiniques*

Les effets secondaires des morphiniques sont proportionnels à la dose injectée, ce qui n'est pas le cas de leurs effets analgésiques. La dépression respiratoire représente le risque majeur de l'injection épidurale ou intrathécale de morphine. Celui-ci est maximal entre la 3e et la 6e heure et persiste au-delà de la 24e heure suivant l'injection [125, 260]. La fréquence de la dépression respiratoire serait plus importante chez le jeune enfant que chez l'adulte [261]. Elle a été évaluée, selon les études, entre 6,5 et 8 % et survient dans la majorité des cas chez l'enfant de moins de 1 an. Elle est d'autant plus à redouter que l'enfant a aussi reçu des morphiniques par voie générale. Dans une étude, 11 enfants sur 138 ayant reçu de la morphine par voie caudale, à fortes doses il est vrai, ont présenté une dépression respiratoire [119]. Sur ces 11 cas, huit enfants avaient moins de 3 mois, et sept avaient reçu un autre morphinique par voie parentérale. Une autre étude a rapporté la survenue de huit cas de dépression respiratoire sur les 124 enfants qui avaient reçu de la morphine par voie épidurale [262]. Sur ces huit enfants, cinq étaient âgés de moins de 1 an. Dans l'enquête de l'ADARPEF, l'injection périmédullaire de morphiniques est réalisée chez 5 % des enfants. Un seul cas d'apnée consécutive à l'injection épidurale d'une dose trop importante de morphine (100 µg·kg^{-1}) a été rapporté chez un enfant de 9 mois [1]. L'association à d'autres sédatifs est à éviter. La généralisation du prurit et une somnolence excessive précèdent presque constamment la dépression respiratoire et ont valeur d'alarme. Le niveau de conscience et la fréquence respiratoire sont les deux éléments importants de la surveillance des enfants ayant reçu des morphiniques (voir question 9).

Les nausées et vomissements sont des inconvénients fréquemment rencontrés. Ils surviennent surtout chez le grand enfant. Ils sont très gênants, et très mal tolérés, dans la période postopératoire. Leur fréquence varie selon les études de 7,5 à 50 % [119, 256, 263, 264]. Ils sont efficacement traités par le dropéridol, en bolus de 0,05 mg·kg^{-1} et l'ondansétron (0,15 mg·kg^{-1}). La rétention d'urines est observée dans 27 à 51 % des cas selon les études [119, 263, 264]. Prurit, nausées, vomissements et rétention d'urines peuvent être levés par de petites doses de naloxone (1-2 µg·kg^{-1}·IV), souvent au détriment de la qualité de l'analgésie, ou, dans une moindre mesure, par la nalbuphine (0,1 mg·kg^{-1}), mais sans modification de la qualité de l'analgésie [265]. Des doses élevées de naloxone (5 µg·kg^{-1}·h^{-1}) ont été utilisées chez des nouveau-nés à terme pour éviter la survenue d'une dépression respiratoire après administration de morphine intrathécale pour assurer l'analgésie après cure d'atrésie de l'œsophage [266].

• *Adrénaline*

La concentration d'adrénaline habituellement recommandée est de 1/200 000. Son injection dans l'espace sous-arachnoïdien ou dans l'espace sous-dural a été retenue comme cause d'une vasoconstriction et d'une ischémie médullaire [255, 267] sans qu'il existe de preuve évidente d'une telle responsabilité [102]. L'injection intravasculaire accidentelle d'une solution adrénalinée peut être responsable d'une tachycardie ou d'un trouble du rythme cardiaque (voir question 4) [138].

• *Clonidine*

Bradycardie, hypotension, sédation excessive n'ont été rapportées qu'après l'injection épidurale de clonidine à une posologie supérieure ou égale à 3 µg·kg^{-1} chez l'adulte [98]. Les études pédiatriques n'ont montré aucune différence significative sur les paramètres hémodynamiques et respiratoires entre les groupes d'enfants recevant ou non de la clonidine à la dose 2 µg·kg^{-1} par voie caudale. Cependant, la sédation est significativement plus importante dans le groupe clonidine après chirurgie de courte durée [99].

Complications des blocs périphériques

L'enquête prospective de l'ADARPEF a montré que durant l'année 1994 les blocs périphériques de conduction ont représenté 16,8 % des ALR [1]. Il s'agissait essentiellement de blocs des membres et du tronc. Dans cette étude aucun incident/accident n'a été rapporté. Dans la littérature il n'existe pas d'autre étude prospective sur la morbidité des blocs périphériques chez l'enfant. Malgré l'absence de complications rapportées, il est essentiel de respecter les contre-indications, les règles de sécurité et d'avoir une connaissance appropriée de l'anatomie de la région impliquée par le bloc.

Complications liées à la technique

Les complications locales potentielles des blocs périphériques sont principalement traumatiques. Une erreur de technique expose à des lésions neuronales, vasculaires et à l'atteinte de structures anatomiques de proximité. Certaines voies d'abord sont plus dangereuses chez l'enfant que chez l'adulte [268]. Le matériel

utilisé a une grande importance dans la prévention de ces complications (voir question 6).

Lésions neuronales
La lésion d'un nerf peut être due à une ponction transfixiante ou à l'injection intraneurale de la solution. La douleur intense provoquée par la transfixion d'un nerf ou par l'injection intraneurale ne fait défaut que chez l'enfant sous AG profonde avec curarisation. La prévention de cette complication implique un respect des règles de localisation des nerfs et des plexus (question 5). Les lésions neuronales sont particulièrement à redouter lorsque le nerf est fixé sur un plan osseux. Ainsi, le bloc du nerf ulnaire ou du nerf radial au niveau du coude expose à une atteinte nerveuse. Ces atteintes n'ont cependant été rapportées qu'après AG et étaient liées à la position peropératoire. De même, l'abord par voie ischiatique du nerf sciatique, plaqué à ce niveau contre l'ischion, fait courir un risque de lésion nerveuse [45].

Lésions vasculaires
La lésion d'une artère peut être à l'origine de lésions ischémiques et d'un hématome compressif. Ainsi, la ponction délibérée de l'artère axillaire comme méthode de localisation du plexus brachial est déconseillée chez l'enfant. Son abord par la voie interscalénique, qui expose au risque de lésion de l'artère vertébrale et des gros vaisseaux du cou, ou la voie péri sous-clavière, qui menace le sommet pulmonaire et l'artère sous-clavière, n'est pas recommandé chez l'enfant. Le bloc du nerf sciatique par voie antérieure et celui du nerf fémoral ont comme complication possible la ponction de l'artère fémorale. Le bloc pénien, très utilisé pour la chirurgie du prépuce, a une morbidité faible. Il doit être réalisé par voie sous-pubienne et latérale [269]. Une ponction médiane peut léser l'artère dorsale de la verge et provoquer un hématome, voire une ischémie de la verge par compression [270].

Lésions des structures anatomiques de proximité
Le pneumothorax est la complication la plus fréquente et la plus grave des blocs du plexus brachial par voie sus-claviculaire. Seule la voie parascalénique n'en comporte pas [271]. La survenue d'un pneumothorax devrait être évitée lors d'un bloc axillaire en proscrivant un site de ponction haut situé dans le creux axillaire et en évitant de diriger l'aiguille vers la cage thoracique. Les blocs paravertébraux sont encore peu utilisés chez l'enfant [272]. Au niveau thoracique ils exposent au risque de ponction de la dure-mère et surtout de la plèvre. Au niveau lombaire, on leur préfère le bloc direct du plexus lombaire. Dans celui-ci, la lésion d'un organe rétropéritonéal, voire intrapéritonéal, sera prévenue en calculant la longueur du trajet de l'aiguille, en fonction du poids et de la taille de l'enfant. Une étude a rapporté comme seule complication des blocs du plexus lombaire, par la voie de Chayen, une anesthésie spinale totale chez un enfant de 10 ans [273].

Extension inattendue d'un bloc et blocs nerveux indésirables
L'extension indésirable au nerf fémoral (bloc moteur transitoire) d'un bloc ilio-inguinal/iliohypogastrique [274] n'est que la conséquence « anatomique » d'une diffusion sous-aponévrotique. Deux cas d'obstruction sévère des voies aériennes viennent d'être rapportés chez l'enfant après bloc du nerf glossopharyngien pour assurer l'analgésie après amygdalectomie [275]. Celui-ci doit donc être déconseillé dans cette indication.

Complications liées à la solution injectée

Anesthésiques locaux
Les complications liées à la neurotoxicité et à la cardiotoxicité des AL sont dues soit à l'injection d'une quantité excessive, soit à une injection intravasculaire (cf supra). Lors de la réalisation simultanée de plusieurs blocs, il faut veiller à ne pas dépasser la dose maximale autorisée (voir question 2). Certaines techniques de bloc périphérique de conduction exposent tout particulièrement à un surdosage en AL en raison d'une forte résorption sanguine. C'est le cas du bloc intrapleural et du bloc intercostal [276-278]. L'anesthésie locale intraveineuse présente un risque de toxicité systémique important, mettant parfois en jeu le pronostic vital [279]. Elle ne doit être réalisée que chez le grand enfant éveillé. Une attention toute particulière est à accorder au dégonflage du garrot qui ne doit pas se faire avant la 20e minute pour réduire la toxicité systémique, ni après la 90e minute pour éviter le développement de lésions ischémiques graves [280].

Adrénaline
L'utilisation de solutions adrénalinées pour la réalisation des blocs périphériques pourrait favoriser la neurotoxicité des AL par l'effet de vasoconstriction locale qu'elles induisent au niveau du vasa nervorum [281]. Les solutions adrénalinées sont contre-indiquées à proximité d'une artère terminale (blocs péniens, blocs digitaux, blocs péribulbaires, blocs du pavillon de l'oreille). Il en va de même pour l'anesthésie locale intraveineuse. L'adjonction d'adrénaline est aussi à déconseiller en cas de vascularisation précaire, par exemple d'ischémie post-traumatique d'un membre, car elle pourrait majorer l'ischémie et le risque de nécrose.

Morphiniques et clonidine
Elles exposent aux complications déjà décrites pour les blocs périmédullaires.

Prévention des complications

La prévention des complications de l'ALR en pédiatrie repose sur certains points fondamentaux : sélection des patients, sélection des techniques, sélection du matériel et des solutions anesthésiques, conditions de réalisation et respect de règles de sécurité [218]. Une bonne sélection des patients vise à obtenir un rapport bénéfice/risque favorable (voir question 8). La sélection de la technique la plus appropriée pour un geste donné est fonction du type de chirurgie, de l'extension attendue de l'anesthésie et du rapport bénéfice/risque. La sélection du matériel et des solutions anesthésiques est primordiale pour obtenir une anesthésie de qualité et une réduction du risque de complications.

Conditions de réalisation
Elles doivent permettre de respecter les règles de sécurité. Une ALR doit être réalisée dans les conditions de surveillance correspondant à celles du bloc opératoire, à l'exception de certains blocs périphériques qui peuvent être réalisés au service ou sur le terrain comme le bloc fémoral pour fracture du fémur. L'asepsie doit être chirurgicale, avec lavage soigneux des mains, port de gants stériles, désinfection de la peau à la chlorhexidine ou au polyvidone iodée chez l'enfant de plus de 1 mois. La mise en place d'un cathéter impose le port d'une casaque stérile et la mise en place de champs. La formation du médecin anesthésiste aux techniques d'ALR est indispensable et une bonne connaissance de l'anatomie et du développement normal est nécessaire. Lors de la réalisation d'une ALR, quatre règles sont essentielles : 1) ne pas s'acharner, abandonner la technique après deux échecs ; 2) privilégier la voie d'abord et la technique la plus sûre ; 3) faire une dose-test, procéder à une injection lente et à des tests d'aspiration répétés ; 4) arrêter l'injection en cas de résistance ou de sensation inhabituelle.

Prise de précautions médicolégales
Au cours de la consultation d'anesthésie, même en urgence, le médecin prenant en charge l'enfant doit expliquer aux parents la technique envisagée, ses avantages et ses inconvénients. La possibilité d'un échec est évoquée. Le refus d'un parent ou son hésitation doit, a priori, être considéré comme une contre-indication de l'ALR. L'acceptation ou le refus des parents est consigné dans le dossier du patient. Sur la feuille d'anesthésie, sont notés la technique, le matériel, l'AL et les adjuvants, les doses, l'extension du bloc sensitif et sa qualité. Les paramètres hémodynamiques et respiratoires doivent être inscrits. La feuille de surveillance postopératoire consigne l'examen de la zone anesthésiée, la couleur de la peau, sa température, l'existence d'un œdème ou d'un hématome, l'évolution du bloc sensitif et moteur et l'absence de rétention d'urines. Lors de la chirurgie ambulatoire, l'enfant est réexaminé avant sa sortie par l'anesthésiste (voir question 9).

Tout incident ou accident doit donner lieu à un rapport détaillé. Le prélèvement d'un échantillon de sang de l'enfant et la congélation du plasma sont utiles en cas de complication systémique, après avoir effectué les gestes urgents de réanimation, pour mesurer la concentration sanguine (voir question 2). L'information de la famille est effectuée par l'anesthésiste. Les séquelles neurologiques après une ALR peuvent apparaître de façon retardée. Elles ne sont pas toujours imputables à la technique anesthésique et une reconstitution des événements est nécessaire. Cliniquement, l'atteinte des fibres nerveuses par un traumatisme de l'aiguille se traduit par une douleur aiguë dans le territoire de ce nerf. Les lésions nerveuses par étirement ou compression ont une symptomatologie beaucoup plus atténuée : hyperesthésies, hypoesthésies et paresthésies résiduelles. Cette distinction est importante sur le plan des possibilités de récupération neurologique et sur le plan médicolégal. La consultation d'un collègue neurologue et la réalisation d'un électromyogramme sont souvent utiles pour le diagnostic précis de la cause de la complication neurologique, pour le suivi de son évolution et pour l'établissement d'un pronostic.

QUESTION N° 8
COMMENT FAIRE UN CHOIX ENTRE PLUSIEURS TECHNIQUES LOCORÉGIONALES ?

L'essor de l'ALR en pédiatrie au cours des 10 dernières années s'explique par une prise de conscience de la douleur de l'enfant, associée à une meilleure connaissance des techniques les rendant particulièrement sûres et efficaces. En pédiatrie, la justification essentielle de l'ALR est la qualité et la durée de l'analgésie postopératoire qu'elle procure. Dans la majorité des cas (90 % des cas), elles sont effectuées en complément d'une AG [1] et réalisées le plus souvent après l'induction, si bien que les indications de ces différentes techniques ne se discutent pas, comme chez l'adulte, par rapport à une AG mais bien plutôt l'une part rapport à l'autre.

Indications et avantages des techniques d'anesthésie locorégionale

Indications

Les indications d'ALR, comme seule technique d'anesthésie, sont rares en pédiatrie et concernent des enfants à risques particuliers :

1 – les anciens prématurés devant subir une intervention sous-ombilicale (cure de hernie inguinale le plus souvent) et qui présentent un risque d'apnée postopératoire après AG. Une analyse combinée de huit études prospectives a confirmé que, chez le nourrisson indemne de pathologie neurologique, ce risque était inversement proportionnel à l'âge gestationnel et à l'âge postconceptionnel, en précisant que la fréquence des apnées postopératoire serait inférieure à 1 % pour un âge postconceptionnel de 54-56 semaines [282]. Le risque est très augmenté en présence d'une anémie (hématocrite < 30 %) ;

2 – certains nourrissons hypotoniques ou atteints d'une pathologie neuromusculaire qui réduit leur réserve respiratoire ;

3 – les enfants présentant une pathologie pulmonaire ou ORL chronique (trachéomalacie, asthme, mucoviscidose) et ceux à risque d'hyperthermie maligne sont souvent de bons candidats à une ALR. Le rapport risque/bénéfice des différentes techniques anesthésiques doit être bien évalué chez ces patients ;

4 – les grands enfants ou les adolescents qui redoutent une AG ou souhaitent rester conscients ;

5 – les enfants ayant l'estomac plein et dont l'état requiert une intervention de chirurgie périphérique en urgence.

Dans ces cas particuliers, comme chez l'adulte, l'ALR est réalisée sans AG ou avec une sédation IV légère, sauf chez les anciens prématurés qui ne doivent recevoir aucune sédation. Les parents et l'enfant auront été préalablement informés des modalités de la technique d'ALR retenue ainsi que de ses effets secondaires. La possibilité d'un échec technique doit également être envisagée et les solutions de remplacement possibles évoquées.

En dehors de ces situations particulières, c'est-à-dire dans la majorité des cas (90 %), l'ALR est associée à une AG légère. Elle est particulièrement intéressante en anesthésie ambulatoire, car l'anesthésie légère qu'elle autorise permet d'écourter la durée d'hospitalisation. L'anesthésie épidurale, caudale ou lombaire, peut être utilisée dans le cadre de l'anesthésie ambulatoire, à condition de ne pas administrer de morphinique par cette voie en raison du risque de dépression respiratoire tardive. L'utilisation de cathéters ou d'adjuvants permet de prolonger la durée de l'analgésie (voir question 9).

Enfin, un bloc régional peut être utile pour traiter un spasme vasculaire par la sympatholyse qu'il entraîne. Ainsi une anesthésie épidurale lombaire continue a été utilisée, après normalisation des troubles de la coagulation, pour traiter l'insuffisance vasculaire secondaire à un purpura fulminans chez un enfant de 2 ans [283].

Contre-indications

Les contre-indications de l'ALR en pédiatrie sont comparables à celles de l'adulte : infection au site d'injection ou bactériémie, hypovolémie non compensée, trouble de l'hémostase, neuropathies démyélinisantes ou troubles psychonévrotiques graves, exceptionnelle allergie aux AL [284]. Pour les blocs centraux, la présence au niveau du point de ponction d'une anomalie cutanée (hémangiome, lipome, appendice cutané, amas de poils, fossette, etc) qui peut être le témoin d'une malformation vertébrale ou médullaire sous-jacente est également une contre-indication à la réalisation du bloc à ce niveau. À ces contre-indications habituelles s'ajoutent, en pédiatrie, le défaut de consentement des parents. Les malformations vertébrales ne sont pas une contre-indication formelle à un bloc central [285] mais imposent une grande prudence si elles sont compliquées (spina bifida avec troubles neurologiques, scoliose opérée).

Les interventions qui exposent à un risque de syndrome de compression des loges musculaires et les déformations vertébrales (scolioses ou cyphoses) doivent faire soigneusement évaluer le bénéfice escompté par rapport au risque encouru avec d'autres techniques analgésiques et faire adapter la surveillance périopératoire de manière à garantir la sécurité non seulement vitale, mais aussi fonctionnelle du patient [286].

Critères de choix

Plusieurs facteurs sont à considérer dans le choix d'une technique d'ALR en pédiatrie :

1 – le rapport bénéfice/risque est l'élément le plus important à prendre en compte en ayant une parfaite connaissance des complications potentielles et réelles de chaque technique, à la lumière d'études multicentriques de morbidité, d'études publiées, de cas rapportés et à travers sa propre expérience. La technique retenue sera la plus sûre pour l'enfant. Il faut toujours garder à l'esprit que le principal bénéfice d'une technique d'ALR chez l'enfant est l'analgésie postopératoire qu'elle procure ;

2 – les risques potentiels de la technique d'analgésie doivent être en rapport avec l'importance de l'acte

Tableau III. Avantages et rapport bénéfice/risque des principales techniques d'ALR utilisées en pédiatrie.

Technique	*Intérêt pratique*	*Bénéfice/risque*	*Cathéter*
Blocs centraux			
spinal	++	+++	Non
caudal	++++	+++	Occasionnel
sacré	+++	+++	Oui
lombaire	++	+++	Oui
thoracique	+	+	Oui
cervical	0	0	0
Blocs proximaux des membres			
susclaviculaire	++	0 à +++*	Non
axillaire	++++	++++	Occasionnel
plexus lombaire	+	+	Non
fémoral/multibloc	++++	++++	Occasionnel
sciatique	+++	+++	Non
Blocs de nerfs du tronc			
pénien	++++	++++	Non
intercostal	++	+	Non
ilio-inguinal/iliohypogastrique	+++	+++	Non
paravertébral	++	+ à +++**	Oui
Blocs distaux des membres	+ à ++	+++	Non
ALRIV	+	±	Non

* voie parascalénique ; **voie chirurgicale.

chirurgical. Il ne paraît pas raisonnable par exemple de réaliser une anesthésie épidurale pour une intervention mineure comme une circoncision ou la cure d'un ongle incarné alors qu'il existe d'autres techniques d'analgésie régionale plus appropriées, tels que bloc pénien ou bloc digital ;

3 – le territoire analgésié doit correspondre au site opératoire, principal mais aussi secondaire comme celui de la prise d'un greffon ou de la pose d'un garrot pneumatique ;

4 – la durée de l'ALR doit correspondre à la durée souhaitable de l'analgésie. La mise en place d'un cathéter est conditionnée par la nécessité de réinjections durant la période per- ou postopératoire ;

5 – l'expérience de l'anesthésiste, pour les différentes techniques d'ALR, doit être considérée. La technique retenue doit être la plus simple et la plus sûre entre ses mains ;

6 – d'autres considérations conditionnent également ce choix comme l'âge de l'enfant, l'état clinique (catégorie ASA), les contre-indications formelles ou relatives, et la qualité de la surveillance postopératoire ;

7 – enfin le rapport coût/efficacité doit également entrer en ligne de compte.

Choix des différentes techniques

Les avantages comparés des principales techniques utilisées en anesthésie pédiatrique sont résumés dans le tableau III. À côté des blocs centraux et des blocs périphériques des membres, d'autres blocs sont utilisés en pédiatrie. Certains présentent de réels avantages avec un rapport bénéfice/risque élevé comme le bloc pénien, le bloc ilio-inguinal et iliohypogastrique, d'autres sont plus aléatoires dans leurs résultats (bloc interpleural) ou de réalisation plus délicate et moins souvent pratiqués (bloc paravertébral), d'autres enfin sont controversés (anesthésie locale IV).

Anesthésie caudale

L'anesthésie caudale est de loin la plus populaire en raison de son efficacité, de sa facilité de réalisation et du faible nombre de complications. Son taux d'échec est habituellement inférieur à 3 % en pratique quotidienne [24, 135]. Son rapport bénéfice/risque est excellent. Elle représente 50 % de toutes les techniques d'ALR rapportées dans l'enquête épidémiologique française [1]. Elle est essentiellement pratiquée chez le jeune enfant (nouveau-né et nourrisson). Après 6 à 7 ans, l'anesthésie caudale devient plus difficile, pour des raisons anatomiques (fermeture du hiatus sacré) et ses effets sont moins prévisibles en raison d'une moins bonne diffusion des solutions dans un espace cellulo-graisseux plus dense. Elle est proposée pour les interventions chirurgicales sous-ombilicales, y compris la chirurgie des membres inférieurs, de la hanche, du pelvis, de la sphère urogénitale et péri-anale. L'anesthésie caudale ne peut être recommandée dans la chirurgie

abdominale haute en raison de l'importance des volumes à injecter, dépassant les doses maximales acceptables. Elle est contre-indiquée en cas de malformation vertébrale basse comme une myéloméningocèle ou d'anomalies sacrées. En présence d'une imperforation anale chez un nourrisson, l'examen échographique de la colonne lombosacrée, en période néonatale, ou une IRM doivent être réalisés, à la recherche d'une anomalie de fixation de la moelle avant de faire une anesthésie caudale [287].

L'anesthésie épidurale sacrée

L'anesthésie épidurale sacrée est spécifique de la pédiatrie [288]. Elle est de réalisation facile avec cependant un risque légèrement accru de ponction sous-arachnoïdienne comparativement à l'abord épidural lombaire. C'est une voie intermédiaire entre l'anesthésie caudale et épidurale lombaire dont elle partage les mêmes indications. L'abord sacré peut être proposé comme alternative à l'anesthésie caudale quand celle-ci est impossible. Cette voie permet l'introduction d'un cathéter dont la position doit être vérifiée radiologiquement avant injection en raison de la fréquence de trajets aberrants [289]. Le bloc épidural lombosacré (espace L5-S1), selon la technique de Taylor modifiée, est proposé dans la chirurgie orthopédique et les interventions urologiques [290].

Anesthésie épidurale lombaire

L'anesthésie épidurale lombaire peut être recommandée pour toute les interventions sous-ombilicales, qu'il s'agisse de chirurgie digestive, urologique ou orthopédique. Elle présente des risques supplémentaires en cas de tumeur solide rétropéritonéale, en raison du développement possible d'un réseau veineux épidural secondaire à une obstruction ou à une compression de la veine cave inférieure. Dans ces cas, il existe un risque accru de ponction vasculaire et d'extension vers un niveau métamérique trop élevé avec des volumes habituels, car l'espace de diffusion des AL est alors réduit. L'absence de métastases osseuses et/ou médullaire doit être éliminée préalablement. Il existe aussi, en cas de tumeur abdominale, un risque de syndrome cave inférieur, provoqué par la compression de la veine cave inférieure et démasqué par le bloc sympathique induit par l'injection épidurale. Le choix de la technique d'anesthésie épidurale la plus appropriée repose sur l'âge de l'enfant, l'expérience de l'anesthésiste et la stratégie analgésique envisagée. Avant l'âge de 6 ans ou jusqu'à un poids de 25 kg, l'anesthésie caudale est souvent préférée, car plus simple, plus fiable et plus sûre. La mise en place d'un cathéter de réinjection postopératoire fera privilégier la voie lombaire ou sacrée.

Anesthésie épidurale thoracique

L'anesthésie épidurale thoracique ne peut être pratiquée chez l'enfant que par des anesthésistes parfaitement rompus à la pratique des blocs centraux [15]. Il n'est pas recommandé de tenter de faire progresser à l'étage thoracique un cathéter épidural introduit par voie lombaire, compte tenu des localisations très erratiques de l'extrémité du cathéter, dès lors que son introduction dépasse 2 cm dans l'espace épidural [29]. L'abord cervical de l'espace épidural est tout à fait exceptionnel chez l'enfant.

Anesthésie spinale (rachianesthésie)

L'anesthésie spinale (ou rachianesthésie) réalisée à l'état vigile, sans anesthésie ni sédation associée, réduit le risque d'apnée postopératoire chez le nouveau-né à risque et l'ancien prématuré [291]. Elle nécessite une technique très rigoureuse chez le nouveau-né pour éviter des complications graves (spinale totale). Le chirurgien doit être expérimenté car il ne dispose que de 45 à 60 minutes pour réaliser son geste (hernie inguinale unilatérale avec vérification controlatérale ou bilatérale). Compte tenu de ces limitations, cette technique est limitée aux centres spécialisés dans cette indication. L'anesthésie spinale est proposée par certains comme une alternative à la voie épidurale pour la chirurgie sous-ombilicale chez le nourrisson et l'enfant [292, 293].

La voie sous-arachnoïdienne peut être utilisée pour l'injection de faibles doses de morphine qui permet d'obtenir une analgésie postopératoire prolongée en chirurgie cardiaque, rachidienne ou abdominale haute [266, 294].

Blocs périphériques des membres

Les blocs périphériques des membres inférieurs sont une excellente alternative aux techniques d'anesthésie épidurale quand l'intervention chirurgicale porte sur un seul membre ou un segment de membre. De plus, ils sont recommandés pour réaliser les biopsies musculaires diagnostiques [295]. Parmi les blocs périphériques des membres supérieurs, le bloc axillaire est de loin la technique de bloc du plexus brachial la plus utilisée en pédiatrie, particulièrement pour la chirurgie de la main et de l'avant-bras. Son rapport bénéfice/risque est élevé. Les blocs susclaviculaires procurent une excellente analgésie de tout le membre supérieur. Ils présentent cependant des risques non négligeables selon la technique utilisée, et nécessitent un apprentissage préalable souvent difficile. Seule la voie parascalénique de Dalens bénéficie d'une morbidité extrêmement faible, sinon nulle [272, 296].

Bloc pénien

Certaines techniques visant à atteindre les nerfs dorsaux à la base du pénis entre le fascia de Buck et les corps caverneux doivent être considérées comme dangereuses [297]. La technique retenue pour sa facilité de réalisation et son efficacité est celle de l'abord sous-pubien [298]. C'est une technique sûre qui entraîne peu de complications si l'on respecte l'interdiction absolue d'utiliser des solutions adrénalinées. Elle procure une analgésie prolongée dans la période postopératoire. Cette technique est particulièrement bien adaptée à la chirurgie ambulatoire du phimosis.

Blocs ilio-inguinal et iliohypogastrique

La technique habituelle consiste à bloquer le nerf ilio-inguinal et le nerf iliohypogastrique, ainsi que leurs branches de division en deux points, l'un à proximité de l'épine iliaque antérosupérieure, l'autre à l'épine du pubis [297]. La technique simplifiée proposée par Dalens est aussi efficace que la double injection habituelle [299]. Elle consiste en une injection unique au point de ponction supérieur en dessous de l'aponévrose du muscle oblique externe. Il est préférable d'effectuer ce bloc en phase préopératoire, de façon à bénéficier de l'effet analgésique en cours d'intervention [300]. Ce bloc peut également être effectué sous contrôle de la vue par le chirurgien, par une infiltration latérale de la zone d'incision, en dedans de l'épine iliaque antérosupérieure dans le plan sous-cutané et dans l'épaisseur du muscle oblique, associée à une infiltration de l'anneau inguinal supérieur [301]. La durée d'analgésie postopératoire est d'environ 8 heures après une dose totale de 1 $mg \cdot kg^{-1}$ de bupivacaïne à 0,25 % [302]. Cette technique, à la portée de tout anesthésiste, même débutant, donne des résultats comparables à ceux d'une anesthésie caudale pour la chirurgie inguinale, sans en partager les effets secondaires éventuels (dysurie, paresthésie des membres inférieurs, voir bloc moteur résiduel) [300, 303, 304]. Étant donné la faible incidence de ses effets secondaires, ce type de bloc peut être recommandé, notamment en chirurgie ambulatoire.

Bloc paravertébral

Le bloc paravertébral est une alternative intéressante à l'analgésie intrapleurale (ou à l'anesthésie épidurale haute) en particulier pour l'analgésie postopératoire après thoracotomie ou chirurgie abdominale haute [28, 305-308]. Le cathéter peut être placé dans l'espace paravertébral peropératoire par le chirurgien sous contrôle de la vue ou en en phase préopératoire à l'aide d'une aiguille de Tuohy [306]. La ponction s'effectue en position latérale, à 1-2 cm latéralement à la ligne des épineuses et perpendiculairement à la peau [306]. L'espace paravertébral est identifié par une perte de résistance comme lors d'une anesthésie épidurale. Il s'agit d'une technique délicate, avec une difficulté particulière pour l'introduction du cathéter dans l'espace paravertébral. Il s'agit d'une technique prometteuse, mais pour l'instant réservée à des opérateurs expérimentés.

Analgésie interpleurale

L'analgésie interpleurale, ou intrapleurale ou bloc pleural, est une technique efficace chez l'adulte après cholécystectomie et chez les patients présentant des fractures multiples et unilatérales de côtes [309], mais son efficacité est moins constante après thoracotomie. Compte tenu de la très bonne qualité d'analgésie qu'elle procure avec peu d'effets secondaires, l'analgésie interpleurale est recommandée chez l'adulte dans ces indications comme alternative à une épidurale thoracique [26]. Cette technique est utilisée chez l'enfant par certains auteurs en particulier après thoracotomie [87, 276, 310, 311]. Néanmoins, l'absorption systémique de bupivacaïne administrée par voie interpleurale est importante et des concentrations plasmatiques élevées ont été rapportées après perfusion continue [311, 312]. Le rapport bénéfice/risque de cette technique apparaît faible et le risque de toxicité systémique des AL doit être présent à l'esprit des défenseurs de cette technique [313].

Anesthésie locorégionale intraveineuse

L'ALR intraveineuse est réservée à la chirurgie des parties molles de la main et de l'avant bras. Elle a également été proposée en traumatologie d'urgence pour le traitement des fractures de membres chez l'enfant [314]. En pratique, sa faisabilité est conditionnée par la tolérance du garrot, souvent médiocre dans un contexte d'urgence traumatique chez le jeune enfant. Cette technique est dangereuse en raison du risque de toxicité systémique lors de la levée du garrot, volontaire ou accidentelle. Le rapport bénéfice/risque est particulièrement bas. De ce fait, cette technique est récusée par certains chez l'enfant [45].

Choix selon le type de chirurgie

Chirurgie sous-ombilicale abdominale ou urogénitale (< T10)

Ce type de chirurgie est fréquent en pédiatrie en raison des pathologies rencontrées (hernie inguinale, ectopie testiculaire, phimosis, reflux vésico-urétéral, uropathies malformatives). Plusieurs techniques d'ALR ont été proposées et comparées dans ces indications particulières.

Hernie inguinale, ectopie testiculaire
L'anesthésie caudale est la technique la plus souvent utilisée chez l'enfant jusqu'à 6 à 7 ans (sauf chez l'enfant prématuré), tant en France [1] qu'aux États-Unis [315]. C'est une technique sûre, efficace qui entraîne peu de complications après injection unique [1, 222, 307]. Cependant le bloc ilio-inguinal/iliohypogastrique est aussi efficace que l'anesthésie caudale pour l'analgésie postopératoire, qu'il soit réalisé en percutané par l'anesthésiste ou sous-vision directe par le chirurgien [300, 301]. Le bloc ilio-inguinal/iliohypogastrique entraîne moins de complications que la caudale, son seul effet secondaire indésirable occasionnel consistant en une possible extension au nerf fémoral homolatéral, réalisant un bloc fémoral [316, 317]. Il est plus rapide à effectuer qu'une caudale mais de réalisation plus aléatoire chez l'enfant de moins de 2 ans en raison de la difficulté à repérer le franchissement de l'aponévrose du muscle oblique externe, rendant compte d'un certain nombre d'échecs. L'utilisation d'aiguilles appropriées à biseau court réduit le risque de pénétration péritonéale. Même si l'effet d'analgésie préventive n'est pas démontré ici [301], il est préférable de réaliser ce bloc périphérique en préopératoire plutôt qu'à la fin de la chirurgie de façon à bénéficier d'une AG plus légère et d'un réveil plus rapide.

L'infiltration d'AL dans la plaie opératoire, à la fin d'une cure chirurgicale de hernie inguinale entraîne une analgésie postopératoire aussi efficace qu'un bloc ilio-inguinal/iliohypogastrique mais l'efficacité de cette technique n'est pas constante et reste dépendante de la performance du chirurgien [318, 319]. L'analgésie procurée est cependant inférieure à celle d'une anesthésie caudale [320].

Phimosis et hypospadias
Pour la circoncision, un bloc périmédullaire semble disproportionné par rapport à la simplicité du geste chirurgical [45, 321]. Dans cette indication, le bloc pénien est la technique recommandée en raison de sa simplicité, de sa rapidité, de son efficacité et de l'absence de bloc moteur des membres inférieurs par rapport à l'anesthésie caudale [297, 298]. Les solutions adrénalinées sont contre-indiquées en raison d'une vascularisation artérielle de type terminal.

L'application topique d'un gel de lidocaïne est moins efficace qu'un bloc dorsal du pénis pour l'analgésie après circoncision [322]. L'application de crème Emla® sur le gland et le prépuce sous un pansement occlusif, 60 à 80 minutes avant une circoncision est efficace pour prévenir la douleur peropératoire chez le nouveau-né [323]. Cette technique est également sûre. Pour une quantité de 0,5 à 1,25 g de crème, les concentrations plasmatiques de lidocaïne et de prilocaïne sont bien en dessous des taux toxiques, sans apparition de méthémoglobine [323]. À condition d'être appliquée sur le prépuce avant et après la circoncision, la crème Emla® procure une analgésie comparable à celle obtenue après anesthésie caudale [324], mais inférieure à celle procurée par un bloc pénien [325].

En cas d'hypospadias, le bloc pénien assure une excellente analgésie postopératoire à condition que la base du pénis ne soit pas concernée. Si c'est le cas, il faut associer le bloc pénien à un bloc périnéal/pudendal [326] ou préférer une anesthésie caudale.

Hernie ombilicale
Le bloc de la gaine des muscles droits est une très ancienne technique d'anesthésie régionale qui a été redécouverte récemment, assurant l'analgésie de la chirurgie de la hernie ombilicale chez l'enfant [327, 328]. Il consiste à infiltrer de façon bilatérale les branches cutanées antérieures du 10e nerf intercostal au-dessus et au-dessous de l'aponévrose superficielle du grand droit, à proximité du champ opératoire. Cette technique simple et sûre devrait se développer.

Chirurgie urologique
Le traitement chirurgical des uropathies malformatives, du fait de leur fréquence, représente une part importante des indications de l'anesthésie épidurale, dont la voie (lombaire, sacrée ou caudale) dépend essentiellement de l'âge de l'enfant et des contre-indications respectives de ces différentes techniques. Si l'on choisit de laisser en place un cathéter pour assurer une analgésie épidurale continue en phase postopératoire, c'est un abord lombaire ou sacré qu'il faut utiliser, quel que soit l'âge de l'enfant.

Chirurgie thoracique

Thoracotomie
La thoracotomie est réputée entraîner les douleurs postopératoires les plus intenses. Plusieurs techniques de bloc ont été proposées pour la contrôler : anesthésie épidurale thoracique, bloc intercostal, analgésie interpleurale, bloc paravertébral.

Les particularités anatomiques de l'espace épidural à l'étage thoracique rendent son abord plus délicat et potentiellement plus dangereux qu'à l'étage lombaire. L'abord épidural thoracique est peu réalisé chez l'enfant. Dans l'étude multicentrique prospective de l'ADARPEF, elle représente néanmoins 6 % des anesthésies épidurales, contre 7,1 % pour l'anesthésie épidurale lombaire et 80,6 % pour l'anesthésie caudale [1]. Elle ne peut s'envisager que pour des interventions

thoraciques majeures, ou chez des patients à haut risque et à condition que l'anesthésiste en ait une grande expérience [45].

Plusieurs auteurs ont montré qu'il était possible d'atteindre l'espace épidural thoracique en introduisant un cathéter par voie caudale, particulièrement chez le jeune enfant, le nouveau-né ou le prématuré [210, 329-331]. Tous les auteurs insistent sur la nécessité de contrôler radiologiquement la position du cathéter avant toute injection d'anesthésique local, compte tenu du risque de trajet aberrant, qui peut atteindre 15 % [331], en particulier quand un cathéter de trop faible diamètre ou sans guide est utilisé [210] (voir aussi question 9). Le test d'aspiration peut être pris en défaut, en raison du faible diamètre du cathéter et des forces de capillarité qui sont alors rencontrées. Cette technique peut présenter des avantages à la période néonatale, car elle évite le risque d'un abord épidural thoracique tout en permettant d'utiliser de faibles doses d'AL. Elle nécessite cependant d'être pratiquée par des opérateurs particulièrement expérimentés. Le faible nombre de patients dans ces études et le risque potentiel de traumatisme ne permettent pas de recommander cette technique chez l'enfant, en dehors de centres spécialisés. Il est très aléatoire de vouloir réaliser une anesthésie épidurale thoracique par voie épidurale lombaire. Même si le cathéter pénètre facilement dans l'espace, il se vrille le plus souvent au niveau lombaire et n'atteint le niveau désiré que dans 22 % des cas [29].

Les blocs intercostaux permettent d'assurer une bonne analgésie postopératoire après thoracotomie. Ils sont le plus souvent réalisés sous contrôle visuel par le chirurgien, au moment de la fermeture du thorax. L'analgésie interpleurale est également de réalisation facile, par l'intermédiaire d'un cathéter mis en place dans l'espace pleural par voie chirurgicale en fin d'intervention [87, 276, 310, 311]. Les résultats obtenus sont contradictoires, et l'intérêt de la technique reste encore à démontrer d'autant qu'il existe un risque important de toxicité systémique après administration continue d'AL par cette voie [311, 313]. Certains recommandent d'utiliser de la lidocaïne [332] ou de la bupivacaïne diluée à 0,1 % [87] et tous insistent sur la nécessité de contrôler régulièrement les concentrations plasmatiques en cas de perfusion continue prolongée.

Le bloc paravertébral semble une alternative intéressante pour l'analgésie postopératoire après thoracotomie [28, 306, 308]. Néanmoins, des concentrations plasmatiques de bupivacaïne très élevées ont été mesurées chez des nourrissons après perfusion prolongée (0,25 $mg \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ de bupivacaïne pendant 30 heures) par voie paravertébrale après thoracotomie [333], ce qui fait craindre une résorption importante à partir de cet espace (voir question 2).

Contrairement aux précédentes techniques, l'administration épidurale de morphine est souvent très intéressante. Elle est de réalisation facile, en injection unique par voie caudale ou lombaire, techniquement peu dangereuse et efficace. Elle nécessite de disposer d'une structure de surveillance appropriée pendant 24 heures.

Chirurgie cardiaque

Une injection de morphine par voie caudale en fin d'intervention, permet d'obtenir une analgésie prolongée et de bonne qualité après chirurgie cardiaque sous CEC, en autorisant une extubation précoce [334]. Cependant, le risque hémorragique en cas d'administration d'anticoagulants doit être soigneusement évalué.

Chirurgie des membres

Chirurgie des membres inférieurs

La principale alternative aux blocs périphériques des membres inférieurs (plexus lombaire et sacré) est l'anesthésie épidurale. Le choix doit tenir compte de plusieurs éléments :

– l'urgence : sur les lieux d'un accident seuls les blocs de réalisation facile peuvent être recommandés. En cas de fracture du fémur le bloc du nerf fémoral, réalisé de façon spécifique ou dans le cadre d'un multibloc, assure une excellente analgésie. C'est là une de ses meilleures indications ;

– l'étendue des lésions et la possibilité ou non de mobiliser le patient ;

– la durée souhaitable de l'analgésie : une analgésie prolongée fera privilégier une anesthésie épidurale continue si le maintien d'un cathéter en bloc périphérique reste problématique ;

– le site opératoire : il est plus logique de privilégier les blocs spécifiques, dès que l'acte chirurgical se limite à un membre ou un segment de membre, d'autant que les études multicentriques indiquent que la fréquence des complications des blocs périphériques est nettement plus faible que celle des blocs centraux [1]. Si la zone à anesthésier dépend à la fois des plexus lombaire et sacré, c'est la voie épidurale qui sera retenue.

Enfin, l'expérience de l'anesthésiste en matière d'ALR est souvent déterminante dans le choix de la technique.

Chirurgie des membres supérieurs

Pour les interventions portant sur la main et l'avant-bras, il faut préférer la voie axillaire en raison de sa simplicité. Elle sera envisagée en urgence et en chirurgie réglée pour l'analgésie per- et postopératoire

prolongée qu'elle procure. Dans un contexte de traumatologie d'urgence, chez un enfant conscient, le bloc axillaire est cependant évité quand le membre n'est pas mobilisable en raison de l'intensité de la douleur engendrée ou de l'existence d'une fracture instable. En dehors de l'analgésie on peut rechercher une vasodilatation, notamment lors de la création d'une fistule artérioveineuse chez un insuffisant rénal. Dans ce dernier cas, un bloc peut permettre d'éviter une AG.

Quand les lésions se situent au-dessus du coude ou lorsque le membre n'est pas mobilisable, il faut choisir un bloc plus proximal. En chirurgie réglée, la pose d'un garrot à la racine du membre est une raison de recourir à un bloc susclaviculaire pour l'anesthésie de la zone comprimée. La persistance d'un bloc moteur peut être recherchée en phase postopératoire chaque fois qu'une stricte immobilité conditionne la réussite de la réparation chirurgicale (suture nerveuse ou tendineuse sous tension par exemple). L'utilisation des blocs susclaviculaires en pédiatrie est grandement conditionnée par l'expérience de l'anesthésiste, d'autant qu'ils ne sont pas dénués de risques. La voie parascalénique peut être retenue, en raison du faible risque qu'elle représente chez l'enfant.

QUESTION N° 9 QUELLE SURVEILLANCE POSTOPÉRATOIRE ?

Le choix des éléments de surveillance postopératoire de l'ALR en pédiatrie repose sur la nature des effets secondaires de chaque technique et les complications rapportées dans la littérature. Le plus souvent, l'ALR est mise en œuvre pour assurer l'analgésie peropératoire (injection caudale ou épidurale unique, anesthésie spinale, blocs périphériques) et l'analgésie des premières heures postopératoires. La surveillance postopératoire a pour objet de vérifier la disparition du bloc dans les délais attendus et l'absence de complication, inhérente à, ou éventuellement masquée par la technique. Ces critères sont de surcroît indispensables pour autoriser la sortie dans le cadre de l'anesthésie ambulatoire.

Il est nécessaire d'individualiser les situations où la technique d'ALR est poursuivie en période postopératoire à l'aide d'un cathéter de réinjection. Les objectifs sont alors de s'assurer de la fiabilité du matériel, de contrôler l'efficacité de la technique, de prévenir et/ou de dépister les effets secondaires et les complications pour pouvoir, au besoin, les traiter sans retard.

Blocs périphériques

La surveillance postopératoire d'un bloc périphérique ne comporte pas de spécificité chez l'enfant par rapport à l'adulte. Elle porte sur le contrôle de la régression du bloc sensitivomoteur, de l'absence de paresthésie résiduelle ou d'hématome au point de ponction. Dans le cadre de l'hospitalisation de jour, la sortie est possible avant la levée complète du bloc. Les recommandations spécifiques de surveillance sont alors données aux parents. La prescription d'un traitement antalgique de relais adapté au niveau de douleur prévisible anticipe au mieux la levée du bloc sensitif. Quand un cathéter est utilisé pour poursuivre l'analgésie en période postopératoire, les recommandations (cf infra) concernant l'administration continue de bupivacaïne par voie épidurale sont également applicables (cf question 2 pour les doses maximales acceptables).

Anesthésie épidurale

Analgésie

L'anesthésie épidurale par voie caudale, trans-sacrée ou lombaire permet de gérer efficacement l'analgésie postopératoire des interventions sous-ombilicales. En effet, elle assure un bloc sensitif prolongé, alors même qu'il n'existe plus de bloc moteur et qu'aucune hypotension orthostatique n'est observée [335]. En revanche, chez le grand enfant et l'adolescent, comme chez l'adulte, le bloc sympathique disparaît plus tardivement que les blocs sensitif et moteur, ce qui impose donc de vérifier l'absence d'hypotension orthostatique avant d'autoriser la déambulation. Comme pour les blocs périphériques, la prescription d'un traitement antalgique de relais, adapté au niveau de douleur prévisible anticipe au mieux la levée du bloc sensitif.

Bloc moteur

L'anesthésie épidurale par voie caudale, trans-sacrée ou lombaire est utilisable chez l'enfant en hospitalisation de jour [336] à condition de s'assurer d'un bon degré de récupération motrice et du tonus des membres inférieurs avant d'autoriser la sortie. Après administration caudale de 0,5 $mL \cdot kg^{-1}$ de bupivacaïne à 0,25 % [337], le délai moyen de déambulation est de 194 minutes. Un bloc moteur persiste chez environ 20 % des enfants au réveil, quelle que soit la concentration de bupivacaïne utilisée [338], mais celui-ci ne retarde habituellement pas la sortie [337, 338].

Sédation

L'administration caudale de clonidine prolonge de façon significative la durée de l'analgésie et provoque une sédation résiduelle qui peut durer jusqu'à 10 heures [99]. Néanmoins, il ne s'agit pas d'une contre-indication à son utilisation dans le cadre d'une anesthésie

ambulatoire, sous réserve de vérifier la récupération d'un bon niveau de vigilance au moment de la sortie.

Dépression respiratoire
L'administration de morphine par voie épidurale dans le but de prolonger l'analgésie [264] est, par contre, une contre-indication formelle à l'hospitalisation de jour comme cela a été exposé précédemment.

La surveillance doit porter : a) en l'absence d'adjuvant, essentiellement sur la levée significative du bloc moteur ; b) en cas d'utilisation d'un adjuvant, il faut y ajouter la surveillance de la fréquence respiratoire et de la sédation.

Anesthésie spinale (rachianesthésie)

Hypotension
Après anesthésie spinale, les modifications de pression artérielle et de fréquence cardiaque sont minimes chez l'enfant de moins de 6 ans [339]. En revanche, à partir de 6 à 8 ans, les variations de la pression artérielle deviennent plus marquées et se rapprochent progressivement de celles observées chez l'adulte.

Bloc moteur
Le délai de disparition du bloc moteur est d'autant plus long que l'enfant est plus grand. Chez celui de moins de 2 ans, ce délai est d'environ le cinquième de celui nécessaire chez l'adulte. Tant que persiste le bloc moteur, la surveillance doit être identique à celle réalisée chez l'adulte, et il faut absolument éviter toute mobilisation intempestive de l'enfant.

Apnées
Le risque est majeur après une AG avant la 44e semaine postconceptionnelle [340]. Le risque d'apnée au cours des 12 premières heures postopératoires d'un enfant né à 32 semaines, et âgé de 56 semaines postconceptionelles est encore de 1 % [282]. Deux cas d'apnée chez des prématurés ayant eu une anesthésie spinale ont été rapportés [62]. De même, une apnée chez un ancien prématuré ayant subi une herniorraphie sous anesthésie caudale a été observée [341]. C'est pourquoi la réalisation d'une anesthésie spinale (ou caudale) chez un enfant ancien prématuré de moins de 60 semaines postconceptionnelles ne dispense pas de la surveillance par un moniteur d'apnée, pendant au moins les 12 premières heures postopératoires.

Céphalées
Ces manifestations sont difficiles à apprécier chez le nourrisson et le jeune enfant, mais elles doivent néanmoins faire l'objet d'une recherche systématique après anesthésie spinale ou en cas de brèche dure-mérienne, celle-ci n'étant pas exceptionnelle (quatre cas dans la série de 72 enfants) [342]. Des céphalées évoluant durant 6 semaines après une ponction lombaire chez un garçon de 12 ans et ayant nécessité un blood patch ont été décrits [343].

Utilisation d'un cathéter épidural pour l'analgésie postopératoire

La gestion d'un cathéter épidural, mis en place avant l'intervention pour assurer l'analgésie postopératoire, inclut une surveillance standardisée selon des protocoles écrits établis au sein de chaque équipe et largement diffusés. Les paramètres de la surveillance peuvent être classés en deux catégories. La première concerne le fonctionnement et la bonne utilisation du matériel, en premier lieu du cathéter. La seconde comporte les éléments de surveillance spécifiques au produit utilisé (AL et/ou morphinique).

Surveillance du cathéter
Des problèmes techniques inhérents au cathéter peuvent être responsables de l'inefficacité ou de l'arrêt prématuré de l'analgésie. Des fuites d'AL autour du cathéter sont observées dans environ 10 % des cas et sont plus fréquentes avec les cathéters les plus fins [256]. Bien qu'aucune étude n'ait été réalisée sur ce sujet, la présence d'une fuite de la solution d'AL expose sans doute à un risque plus élevé d'infection. L'attitude proposée est de laisser le cathéter en place pendant encore 24 heures au maximum si l'analgésie est satisfaisante, et de le retirer si l'analgésie est insuffisante. Une série de 1 014 patients adultes [126] a rapporté 19 % de problèmes mécaniques incluant l'ablation accidentelle du cathéter et conduisant à l'arrêt de l'analgésie au décours des 72 premières heures. Les enfants sont exposés aux mêmes aléas. Dans un travail [342] trois ablations accidentelles de cathéters épiduraux dans une série de 72 enfants ont été relevées. Une fixation suffisante lors de la mise en place, et une surveillance régulière du point de ponction (humidité du pansement) surtout en cas d'agitation, doivent prévenir ces échecs. Le cathéter épidural doit être clairement identifié afin de ne pas le confondre avec un accès veineux.

Pompes de perfusion
Une étude [256] rapporte 11 % de problèmes techniques (occlusion du cathéter, dysfonctionnement de la pompe, etc) conduisant à l'interruption de l'analgésie. L'étanchéité des systèmes de connexion au niveau des filtres et l'utilisation de pousse-seringues électriques fiables munis d'alarme de pression sont nécessaires en

raison de la faible taille des cathéters épiduraux pédiatriques. L'idéal est de disposer de pompes verrouillables, n'autorisant aucune manipulation par le personnel non habilité. Le contrôle de la progression régulière du piston du pousse-seringue est indispensable. À partir de 30 kg, pour éviter des manipulations trop fréquentes du cathéter au moment des changements de seringues, il est souhaitable d'utiliser des dispositifs de perfusion comportant un réservoir assurant une autonomie de 24 heures. La préparation par le service de la pharmacie garantit alors les meilleures conditions d'asepsie.

Risque infectieux

Dans une étude rétrospective portant sur 1 458 enfants ayant bénéficié d'une analgésie épidurale continue, la seule complication a été une colonisation épidurale candidosique chez un enfant de 10 ans atteint d'une pathologie néoplasique, après la pose de deux cathéters thoraciques en l'espace de 4 semaines. Davantage de données sont disponibles chez l'adulte. Dans une série de 1 014 patients [126], une inflammation au point cutané d'insertion a été observée dans 4 % des cas associée, dans près de la moitié des cas, à une collection purulente uniquement cutanée. Aucune infection épidurale n'a été décrite. Dans une série de 68 patients [344] chez lesquels la mise en culture du cathéter épidural a mis en évidence une colonisation bactérienne, 59 d'entre eux avaient des signes locaux d'infection, 11 un syndrome méningé et dans deux cas existait un abcès épidural. Les principaux germes en cause étaient un staphylocoque coagulase-négative (41 %), un staphylocoque doré (35 %) et un bacille à Gram négatif (14 %). L'abcès épidural est une complication très rare. Moins de 90 cas, d'ailleurs non liés à un cathéter épidural avaient été rapportés dans la littérature [345]. Le principal signe révélateur est la douleur lombaire, mais des douleurs à localisation abdominale ou au niveau des extrémités peuvent dominer le tableau clinique. Des signes neurologiques sont présents dans deux tiers des cas. L'IRM possède la meilleure valeur diagnostique. La mortalité globale est de 12 %. Un abcès épidural a été récemment rapporté chez un enfant de 1 an chez qui un cathéter épidural était en place depuis 12 jours [346]. L'évolution a été favorable sous traitement médical. Cette durée de maintien en place du cathéter est cependant inhabituelle et ne peut être recommandée pour la chirurgie courante (voir question 6).

Le risque d'infection liée à l'utilisation postopératoire d'un cathéter épidural paraît faible. Néanmoins, la gravité de cette complication justifie qu'elle soit évoquée devant l'association d'une fièvre, de douleurs lombaires et/ou de signes neurologiques au niveau des membres inférieurs. Par conséquent la mesure de la température centrale fait partie des paramètres de surveillance pendant toute la durée de l'analgésie épidurale. En cas de fièvre, le retrait du cathéter et sa mise en culture, sont systématiques en présence de signes neurologiques ou encore si des signes locaux (inflammation, suppuration) sont présents au point de ponction. En revanche, si la fièvre est isolée, le retrait est discuté au cas par cas en tenant compte de l'importance des signes généraux et de la nature de l'intervention. Il est recommandé en cas de signes cliniques de bactériémie.

Enfin, le point de ponction doit être surveillé pendant les 72 heures suivant son retrait, car des cas d'abcès cutanés au point de ponction de révélation tardive ont été décrits [231].

Toxicité de la bupivacaïne

Plusieurs publications ont rapporté des accidents toxiques liés à l'administration de doses excessives de bupivacaïne par voie épidurale [82, 247, 347, 348]. Les manifestations sont difficiles à détecter chez le nourrisson et le jeune enfant, qui peuvent apparaître irritables pour un grand nombre d'autres raisons (douleur, faim, peur, inconfort, etc). Aussi, la surveillance des doses horaires et quotidiennes de bupivacaïne a pour but de veiller au respect des posologies maximales recommandées (question 2, tableau II). Toute nouvelle connexion doit être précédée d'une aspiration et d'une dose-test.

Dépression respiratoire due aux morphiniques

Après l'administration épidurale de morphine, l'incidence de la dépression respiratoire chez l'adulte est estimée à 0,2 % [349]. Chez l'enfant, le risque est du même ordre [343]. Elle peut survenir de façon retardée [119, 260, 330]. L'altération de la réponse au CO_2 persiste 22 heures après l'administration d'une seule dose épidurale de 50 $\mu g \cdot kg^{-1}$ de morphine [263]. La surveillance de la fréquence respiratoire et de la sédation doit être effectuée toutes les 2 heures et poursuivie 24 heures après la dernière administration. L'utilisation de morphiniques plus liposolubles ne met pas à l'abri du risque. Chez l'adulte, une incidence de dépression respiratoire de 1,2 % a été rapportée avec le fentanyl [126]. Le sufentanil à la dose de 0,75 $\mu g \cdot kg^{-1}$ [121], dose considérée actuellement comme très élevée, altère significativement la réponse au CO_2. Quant à la buprénorphine [132, 350] et malgré l'AMM qui lui a été accordée dans cette indication, elle doit être évitée, car ses effets dépresseurs respiratoires sont difficilement antagonisables.

La dépression respiratoire est toujours associée à, et précédée par, une sédation excessive, s'installant suffisamment lentement pour la dépister. Une information

répétée du personnel infirmier est indispensable. Un protocole écrit standardisé doit être disponible dans la chambre de l'enfant, de même que le dispositif d'oxygénation et la naloxone. La surveillance porte sur la fréquence respiratoire et la sédation avant toute stimulation de l'enfant. Une surveillance horaire étant difficilement réalisable, une surveillance systématique toutes les 2 heures semble constituer un bon compromis. Elle est notée afin de suivre son évolution. En cas de ralentissement de la fréquence respiratoire, ou de sédation excessive, l'infirmière arrête la perfusion épidurale et prévient le médecin responsable. En cas de bradypnée (baisse de la fréquence respiratoire en dessous d'une valeur déterminée en fonction de l'âge et figurant sur le protocole écrit), de cyanose, et/ou de chute de langue, et/ou d'enfant non réveillable, l'infirmière doit en plus le stimuler, l'oxygéner et injecter la dose de naloxone prévue par le protocole (au minimum 10 $\mu g \cdot kg^{-1}$), avant même l'arrivée du médecin. La surveillance doit être poursuivie au minimum 24 heures après la dernière injection de morphine, 3 heures après une injection unique de fentanyl, 12 heures après l'arrêt d'une perfusion continue. L'enfant ne doit pas recevoir de morphinique par une autre voie. Un abord veineux fiable doit être maintenu tant que persiste le risque de dépression respiratoire. La surveillance de la SpO_2 ne remplace pas celle de l'infirmière. Une SpO_2 peut coexister avec une hypercapnie si l'enfant reçoit un supplément d'oxygène. Durant la nuit, on peut cependant recommander l'utilisation d'un oxymètre de pouls muni d'une alarme chez les jeunes enfants, de façon à assurer une surveillance continue.

En raison du risque de dépression respiratoire, certains [343] recommandent une surveillance en unité de soins intensifs. Plusieurs estiment que l'administration épidurale de morphine ou de fentanyl chez l'enfant est possible à condition que la surveillance soit adaptée [351-353]. À partir de 1 an, l'hospitalisation systématique en unité de soins intensifs n'est donc pas indispensable [354]. Peu importe le lieu, à condition que la fréquence de la surveillance soit respectée. Lorsque la dotation en personnel de l'établissement le permet, la collaboration du personnel infirmier est facilement acquise par la qualité de l'analgésie postopératoire ainsi obtenue. Mais cette surveillance représente évidemment une lourde charge, qu'il serait maladroit et dangereux d'ignorer.

En revanche, au-dessous de 1 an, l'hospitalisation en secteur de soins intensifs est justifiée par le fait que la majorité des dépressions respiratoires publiées en pédiatrie à la suite de l'administration de morphine par voie épidurale concernent des enfants de cette tranche d'âge [119, 260, 355].

L'utilisation préventive d'une faible dose de naloxone permettrait de réduire le risque de dépression respiratoire au vu des travaux disponibles chez l'adulte, mais parfois au prix d'une diminution de la qualité de l'analgésie. La naloxone IV à la dose de 5 $\mu g \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$, prévient la réduction du volume-minute et l'augmentation de $PaCO_2$ provoquées par l'administration épidurale de 4 mg de morphine [355] et l'apparition de signes de dépression respiratoire après administration intrathécale de morphine chez le nouveau-né [266]. L'administration de nalbuphine est une alternative efficace [265], non seulement pour antagoniser les effets respiratoires mais également pour traiter le prurit, les nausées et les vomissements. Chez l'adulte, la dose proposée est de 15 $\mu g \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$.

Retentissement hémodynamique

Plusieurs travaux ont montré l'absence de retentissement hémodynamique chez le jeune enfant sain et en normovolémie de l'administration épidurale de bupivacaïne, aussi bien pendant la période peropératoire [41] que postopératoire. Il n'y a donc pas lieu de recommander une surveillance hémodynamique spécifique à la pratique de l'analgésie épidurale en dehors de celle réalisée dans le contexte de la surveillance après chirurgie majeure. La surveillance hémodynamique est justifiée en revanche en cas d'injections discontinues pendant les 30 minutes suivant chaque réinjection.

Qualité du bloc sensitivomoteur

L'évaluation régulière de l'efficacité de l'analgésie postopératoire à l'aide de scores adaptés à l'âge de l'enfant (scores comportementaux pour les nourrissons, échelles verbales simplifiées pour les enfants d'âge préscolaire, échelles visuelles analogiques pour les enfants plus grands) est souhaitable. Une surveillance biquotidienne de l'intensité du bloc moteur, du niveau sensitif, de leur symétrie et le dépistage d'une éventuelle complication neurologique (douleur lombaire, radiculaire) sont recommandés.

L'administration continue de bupivacaïne est responsable d'un bloc moteur excessif chez 16 % des enfants [256]. De plus, l'apparition d'un bloc moteur peut être le signe d'une migration sous-arachnoidienne secondaire du cathéter. Aussi, cette complication, non encore décrite chez l'enfant, doit être recherchée avec soin (reflux de LCR ? niveau ?) [356]. Tout déficit ne régressant pas dans des délais raisonnables à l'arrêt de l'administration de l'AL doit faire pratiquer une exploration tomodensitométrique ou une IRM dans les plus courts délais, pour éliminer un processus compressif (voir question 7).

À l'inverse, si l'analgésie est insuffisante, d'éven-

tuels problèmes liés au cathéter (problèmes de connexion, de fuite, latéralisation) doivent tout d'abord être éliminés. Plutôt que d'augmenter les doses de bupivacaïne, il est plus judicieux d'y associer un morphinique, surtout si l'extrémité distale du cathéter est éloignée du niveau métamérique souhaité et à condition de pouvoir mettre en œuvre la surveillance respiratoire adaptée. Une analgésie efficace peut partiellement occulter un syndrome des loges, et en retarder le diagnostic et le traitement, avec le risque de séquelle fonctionnelle que cela suppose [357, 358]. De toute façon, la douleur est un signe tardif de syndrome des loges qui doit être dépisté par une surveillance clinique soigneuse comportant la température des extrémités, leur mobilité, le temps de recoloration voire la mesure directe de la pression. D'une manière générale, le diagnostic d'une complication chirurgicale doit être systématiquement évoqué devant toute analgésie insuffisante en dépit de doses habituellement efficaces.

Rétention urinaire

Avec la bupivacaïne, l'incidence de la rétention urinaire est rare [76]. En revanche elle affecte environ 25 % des enfants ayant reçu de la morphine par voie épidurale. L'analgésie peut rendre un globe vésical indolore, si bien que sa recherche doit être systématique. Plusieurs conduites à tenir peuvent être proposées selon les cas : sondage vésical à la demande, arrêt temporaire de l'administration épidurale continue, perfusion veineuse de faibles doses de naloxone (1 $\mu g \cdot kg^{-1}$) ou de nalbuphine (0,1 $mg \cdot kg^{-1}$).

Nausées et vomissements

Nausées et vomissements touchent environ 25 % des patients, enfants ou adultes, recevant de la morphine par voie épidurale [334, 349]. L'incidence serait plus faible avec le fentanyl [122, 126]. Après administration de sufentanil, l'incidence des nausées et vomissements est de l'ordre de 30 % [121]. Un autre travail [256] rapporte une incidence de nausées et de vomissements de 23 % après administration continue de bupivacaïne. Le métoclopramide n'a pas d'effet préventif. En revanche, l'administration préopératoire d'ondansetron paraît efficace [359], de même que celle de nalbuphine [265].

Prurit

L'incidence du prurit au cours de l'utilisation de morphine par voie épidurale est de 20 à 30 % [122, 343, 349]. Avec le fentanyl, l'incidence est plus faible, de l'ordre de 10 % [126, 353]. La naloxone à faible dose (bolus de 1-2 $\mu g \cdot kg^{-1}$ suivi de 1-2 $\mu g \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$) s'est montrée efficace pour supprimer le prurit sans lever l'analgésie après morphine épidurale chez l'enfant [360]. Un prurit facial très intense peut également être annonciateur de dépression respiratoire.

RÉFÉRENCES

1 Giaufré E, Dalens B, Gombert A. Epidemiology and morbidity of regional anesthesia in children: a one-year prospective survey of the French-language society of pediatric anesthesiologists. *Anesth Analg* 1996;83:904-12
2 Goldman LJ. Complications in regional anaesthesia. *Paediatr Anaesth* 1995;5:3-9
3 Olsson GL. Complications of paediatric anaesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol* 1990;3:385-9
4 Strafford MA, Wilder RT, Berde CB. The risk of infection from epidural analgesia in children: a review of 1620 cases. *Anesth Analg* 1995;80:234-8
5 Pietropaoli JA, Keller MS, Smail DF, Abajian JC, Kreutz JM, Vane DW. Regional anesthesia in pediatric surgery: complications and postoperative comfort level in 174 children. *J Pediatr Surg* 1993;28:560-4
6 Badgwell JM, McLeod MM. Complications of epidural and spinal anesthesia in children. *Curr Opin Anaesthesiol* 1995;8:420-5
7 Flandin-Bléty C, Barrier G. Accidents following extradural analgesia in children. The result of a retrospective study. *Paediatr Anaesth* 1995;5:41-6
8 Sethna NF, Berde CB. Pediatric regional anesthesia. In: Gregory GA, ed. *Pediatric anesthesia*. New-York: Churchill-Livingstone, 1994:281-318
9 Alifimoff JK, Coté CJ. Pediatric regional anesthesia. In: Coté CJ, Ryan JF, Todres ID, Goudsouzian NG, eds. A *practice of anesthesia for infant and children*. Philadelphia: Saunders, 1993:429-50
10 Dalens B. Anesthésie régionale : blocs périphériques. In: Saint-Maurice C, Murat I, Ecoffey C, eds. *Manuel d'anesthésie pédiatrique*. Paris : Pradel, 1994:579-98
11 Ecoffey C. Anesthésie régionale : blocs centraux, bloc épidural, rachianesthésie. In: Saint-Maurice C, Murat I, Ecoffey C, eds. *Manuel d'anesthésie pédiatrique*. Paris : Pradel, 1994:565-78
12 Armitage ED. Regional anaesthesia. In: Sumner E, Hatch D, eds. *Textbook of paediatric anaesthetic practice*. London: Baillère-Tindall, 1989:213-34
13 Dalens B. Anesthésie locorégionale en pédiatrie. In: Samii K, ed. *Anesthésie réanimation chirurgicale*. Paris: Flammarion Médecine-Sciences, 1995:634-48
14 Dalens B. Anesthésie locorégionale. In: Écoffey C, Hamza J, Meistelman C, eds. *Anesthésie pédiatrique*. Paris : Flammarion Médecine-Sciences, 1997:117-28
15 Bösenberg AT. Recent developments in paediatric regional anaesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol* 1996;9:233-8
16 Bloch EC. Update on anesthesia management for infants and children. *Surg Clin North Am* 1992;72:1207-21
17 Wilton NCT. Postoperative pain management for pediatric urologic surgery. *Urol Clin North Am* 1995;22:189-203
18 Cameron CB. The special patient. *Probl Anesth* 1992;6:253-67
19 Tobias JD. Pain management of the pediatric patient. *Clin Ped Med Surg* 1994;11:25-40
20 Londergan TA, Hochman HI, Goldberger N. Postoperative pain following out patients pediatric urologic surgery. A comparison of anesthetic techniques. *Urology* 1994;44:572-6
21 Murat I. Paediatric anaesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol* 1996;9:219-20
22 Yeager MP. The role of regional anesthesia in improving surgical outcome. *Anesth Analg* 1991 (Suppl):122-9

23 Rice LJ. Regional anesthesia and analgesia. In: Motoyama EK, Davis PJ, eds. *Smith's Anesthesia for infants and children*. ST. Louis: Mosby, 1996:403-42
24 Dalens B, Hasnaoui A. Caudal anesthesia in pediatric surgery: Success rate and adverse effects in 750 consecutive patients. *Anesth Analg* 1989;68:83-9
25 Tobias JD, Rasmussen GE, Holcomb GW, Brock JW, Morgan WM. Continuous caudal anaesthesia with chloroprocaine as an adjunct to general anaesthesia in neonates. *Can J Anaesth* 1996;43:69-72
26 Serour F, Cohen A, Mandelberg A, Mori J, Ezra S. Dorsal penile nerve block in children undergoing circumcision in a day-care surgery. *Can J Anaesth* 1996;43:954-8
27 Inberg P, Kassila M, Vilkki S, Tarkkila P, Neuvonen P. Anaesthesia for microvascular surgery in children. A combination of general anaesthesia and axillary plexus block. *Acta Anaesthesiol Scand* 1995;39:518-22
28 Karmakar MK, Booker PD, Franks R, Pozzi M. Continuous extrapleural paravertebral infusion of bupivacaine for post-thoracotomy analgesia in young infants. *Br J Anaesth* 1996;76:811-5
29 Blanco D, Llamazares J, Rincon R, Ortiz M, Vidal F. Thoracic epidural anesthesia via the lumbar approach in infants and children. *Anesthesiology* 1996;84:1312-6
30 Goresky GV. Le contrôle de la douleur chez le patient pédiatrique - rôle de l'anesthésiste. *Can J Anaesth* 1993;40:R99-R103
31 Bösenberg AT, Hadley GP, Wiersma R. Oesophageal atresia: caudo-thoracic epidural anaesthesia reduces the need for postoperative ventilatory support. *Pediatr Surg Int* 1992;7:289-91
32 McNeely JK, Farber NE, Rusy LM, Hoffman GM. Epidural analgesia improves outcome following pediatric fundoplication. *Reg Anesth* 1997;22:16-23
33 Anand KJS, Hickey PR. Halothane-morphine compared with high-dose sufentanil for anesthesia and postoperative analgesia in neonatal cardiac surgery. *N Engl J Med* 1992;326:1-9
34 Pullerits J, Holzman RS. Pediatric neuraxial blockade. *J Clin Anesth* 1993;5:342-54
35 Cass LJ, Howard RF. Respiratory complications due to inadequate analgesia following thoracotomy in a neonate. *Anaesthesia* 1994;49:879-80
36 Mankikian B, Cantineau JP, Bertrand M, Kieffer E, Sartene R, Viars P. Improvement of diaphragmatic function by a thoracic extradural block after upper abdominal surgery. *Anesthesiology* 1988;68:379-86
37 Gouyet I, Dubois MC, Murat I, Saint-Maurice C. Comparison of two anaesthesia techniques on perioperative insulin response to IV glucose infusion in children. *Acta Anaesthesiol Scand* 1993;37:12-6
38 Murat I, Walker J, Esteve C, Nahoul K, Saint-Maurice C. Effect of lumbar epidural anaesthesia on plasma cortisol levels in children. *Can J Anaesth* 1988;35:20-4
39 Wolf AR, Eyres RL, Laussen PC, Edwards J, Stanley IJ, Rowe P, Simon L. Effect of extradural analgesia on stress responses to abdominal surgery in infants. *Br J Anaesth* 1993;70:654-60
40 Payen D, Ecoffey C, Carli P, Dubousset AM. Pulsed Doppler ascending aortic, carotid, brachial, and femoral artery blood flows during caudal anesthesia in infants. *Anesthesiology* 1987;67:681-5
41 Murat I, Delleur MM, Esteve C, Egu JF, Raynaud P, Saint-Maurice C. Continuous extradural anaesthesia in children: clinical and haemodynamic implications. *Br J Anaesth* 1987;59:1441-50
42 Bolte RG, Stevens PM, Scott SM, Schun JE. Mini-dose Bier block intravenous regional anesthesia in the emergency department for treatment of pediatric upper-extremity injuries. *J Pediatr Orthop* 1994;14:534-7
43 Bratt HD, Eyres RL, Cole WG. Randomized double-blind trial of low- and moderate-dose lidocaine regional anesthesia for forearm fractures in childhood. *J Pediatr Orthop* 1996;16:660-3
44 Société française d'anesthésie et de réanimation. *Recommandations concernant la surveillance des patients en cours d'anesthésie*. 1994
45 Dalens B, Mansoor O. Safe selection and performance of regional anaesthetic techniques in children. *Curr Opin Anaesthesiol* 1994;7:257-61
46 Dalens B, Saint-Maurice C. Conditions pratiques de réalisation et de surveillance d'une anesthésie locorégionale. In: Dalens B, ed. *Anesthésie locorégionale de la naissance à l'âge adulte*. Paris : Pradel, 1993:135-66
47 Eyres RL. Local anaesthetic agent in infancy. *Paediatr Anaesth* 1995;5:213-8
48 Scott GM, Steward DJ. Small patients may have big problems: complications of pediatric anesthesia. *Semin Anesth* 1996;15:159-70
49 Erb T, Frei FJ. Sedation in the paediatric intensive care unit. *Curr Opin Anaesthesiol* 1996;9:239-43
50 Yaster M, Nichols DG, Deshpande JK, Wetzel RC. Midazolam-fentanyl intravenous sedation in children: case report of respiratory arrest. *Pediatrics* 1990;86:463-7
51 Guidelines for monitoring and management of pediatric patients during and after sedation for diagnostic and therapeutic procedures. *Pediatrics* 1992;89:1110-5
52 Committee on drugs (Section on Anesthesiology). Guidelines for the elective use of conscious sedation, deep sedation, and general anesthesia in pediatric patients. *Pediatrics* 1985;2:317-21
53 Rothstein P. Sedation and pain management for children. *Anesth Analg* 1995:33-6
54 Saint-Maurice C. Indications et limites d'utilisation de l'anesthésie régionale chez l'enfant. In: Dalens B, ed. *Anesthésie locorégionale de la naissance à l'âge adulte*. Paris : Pradel, 1993:129-34
55 Dalens B, Mansoor O. Modalités pratiques d'utilisation du propofol en complément de l'anesthésie locorégionale chez l'enfant. *Cah Anesthesiol* 1993;41:245-9
56 Morray JP, Geiduschek JM, Caplan RA, Posner KL, Gild WM, Cheney FW. A comparison of pediatric and adult anesthesia closed malpractice claims. *Anesthesiology* 1993;78:461-7
57 Greg RV, Tumer PA, Denson DD. Does diazepam really reduce the cardiotoxic effects of intravenous bupivacaine? *Anesth Analg* 1988;67:9-14
58 Bruguerolle B, Emperaire N. Local anesthetics-induced toxicity may be modified by low doses of flumazenil. *Life Sci* 1992;50:185-7
59 Schulte Steinberg O. Regional anaesthesia in paediatrics. *Mediglobe* 1986:25-38
60 Tucker GT, Mather LE. Properties, absorption, and disposition of local anesthetic agents. In: Cousins MJ, Bridenbaugh PO, eds. *Neural blockade in clinical anesthesia and management of pain*. 2nd Ed Lippincott 1988:57-8
61 Ducan PG, Kobrinsky N. Prilocaine-induced methemoglobinemia in a newborn infant. *Anesthesiology* 1983;59:75-6
62 Harnik EV, Hoy GR, Potoliecchio S, Steward DR, Siegelman RE. Spinal anesthesia in premature infants recovering from respiratory distress syndrome. *Anesthesiology* 1986;64:95-9
63 Benzon HT, Strichartz GR, Gissen AJ, Shanks CA, Datta S, Covino DG. Developmental neurophysiology of mammalian peripheral nerves and age-related differential sensitivity to local anaesthetics. *Br J Anaesth* 1988;61:754-60
64 Di Fazzio CA. Metabolites of local anaesthetics in the foetus, newborn and adult. *Br J Anaesth* 1979;51:329-49
65 Tucker GT, Mather LE. Properties, absorption, and disposition

of local anesthetic agents. In: Cousins MJ, Bridenbaugh PO, eds. *Neural Blockade in clinical anesthesia and management of pain.* 2nd Ed Lippincott 1988:96

66 Mazoit JX, Denson DD, Samii K. Pharmacokinetics of bupivacaine following caudal anesthesia in infants. *Anesthesiology* 1988;68:387-91

67 Luz G, Innerhofer P, Bachmann B, Frischut B, Menardi G, Benzer A. Bupivacaine plasma concentrations during continuous epidural anesthesia in infants and children. *Anesth Analg* 1996;82:231-4

68 Écoffey C, Desparmet J, Berdeaux A, Maury M, Giudicelli JF, Saint-Maurice C. Pharmacokinetics of lidocaine in children following caudal anaesthesia. *Br J Anaesth* 1984;56:1399-402

69 Écoffey C, Desparmet J, Berdeaux A, Maury M, Giudicelli JF, Saint-Maurice C. Bupivacaine in children: pharmacokinetics following caudal anesthesia. *Anesthesiology* 1985;63:447-8

70 Murat I, Estève C, Montay G, Saint-Maurice C. Pharmacokinetics and cardiovascular effects of bupivacaine during epidural anesthesia in children with Duchenne muscular dystrophy. *Anesthesiology* 1987;67:249-52

71 Burm AGL, Vermeulen NPE, Van Kleef JW, de Boer AG, Spierdijk J, Breimer DD. Pharmacokinetics of lidocaine and bupivacaine in surgical patients following epidural administration. Simultaneous investigation of absorption and disposition kinetics using stable isotopes. *Clin Pharmacokinet* 1987;13:191-203

72 Burm AGL. Clinical pharmacokinetics of epidural and spinal anesthesia. *Clin Pharmacokinet* 1989;16:283-311

73 Mahé V, Écoffey C. Spinal anesthesia with isobaric bupivacaine in infants. *Anesthesiology* 1988;68:601-3

74 Écoffey C, Dubousset AM, Samii K. Lumbar and thoracic epidural anesthesia for urologic and upper abdominal surgery in infants and children. *Anesthesiology* 1986;65:87-90

75 Tucker G.T. Pharmacokinetics of local anaesthetics. *Br J Anaesth* 1986;58:717-31

76 Warner MA, Kunkel SE, Offord KO, Atchison SR, Dawson B. The effects of age, epinephrine, and operative site on duration of caudal analgesia in pediatric patients. *Anesth Analg* 1987;66:995-8

77 Mets B, Janicki PK, James MF, Erskine R, Sasman B. Lidocaine and bupivacaine cardiorespiratory toxicity is additive: a study in rats. *Anesth Analg* 1992;75:611-4

78 Booker PD, Taylor C, Saba G. Perioperative changes in a1-acid glycoprotein concentrations in infants undergoing major surgery. *Br J Anaesth* 1996;76:365-8

79 Smith T, Moratin P, Wulf H. Smaller children have greater bupivacaine plasma concentrations after ilioinguinal block. *Br J Anaesth* 1996;76:452-5

80 Peutrell JM, Holder K, Gregory M. Plasma bupivacaine concentrations associated with continuous extradural infusions in babies. *Br J Anaesth* 1997;78:160-2

81 Larsson BA, Lonnqvist PA, Olsson GL. Plasma concentrations of bupivacaine in neonates after continuous epidural infusion. *Anesth Analg* 1997;84:501-5

82 McCloskey JJ, Haun SE, Deshpande JK. Bupivacaine toxicity secondary to continuous caudal epidural infusion in children. *Anesth Analg* 1992;75:287-90

83 Maxwell LG, Martin LD, Yaster M. Bupivacaine-induced cardiac toxicity in neonates: successful treatment with intravenous phenytoin. *Anesthesiology* 1994;80:682-6

84 Desparmet J, Meistelman C, Barre J, Saint-Maurice C. Continuous epidural infusion of bupivacaine for postoperative pain relief in children. *Anesthesiology* 1987;67:108-10

85 Baumgarten RK. Pharmacokinetic basis for local anesthetic infusions [letter]. *Anesth Analg* 1993;77:1304

86 Mevrach DL, Perkins FM, Isaacson SA. Bupivacaine toxicity secondary to continuous caudal epidural infusion in children [letter] et Berde C. Reply. *Anesth Analg* 1995;77:1305-6

87 Giaufré E, Bruguerolle B, Rastello C, Coquet M, Lorec AM. New regimen for interpleural block in children. *Paediatr Anaesth* 1995;5:125-8

88 Mazoit JX. Mode d'action et toxicité des anesthésiques locaux. In: Sfar, ed. *Conférences d'actualisation d'anesthésie et de réanimation.* Paris : Elsevier, 1996:249-62

89 Coyle DE, Speralakis N. Bupivacaine and lidocaine blockade of calcium-mediated slow action potentials in guinea-pig ventricular muscle. *J Exp Pharmacol Ther* 1987;242:1001-5

90 Valenzuella C, Delpon E, Tamkun MM, Tarmago J, Snyders DJ. Stereoselective block of a human cardiac potassium channel (Kv1.5) by bupivacaine enantiomers. *Biophys J* 1995;69:418-27

91 de La Coussaye J, Brugada J, Allessie MA. Electrophysiologic and arrhythmogenic effects of bupivacaine. A study with high-resolution ventricular epicardial mapping in rabbit hearts. *Anesthesiology* 1992;77:32-41

92 Mazoit JX, Orhant EE, Boïco O, Kantelip JP, Samii K. Myocardial uptake of bupivacaine: I. Pharmacokinetics and pharmacodynamics of lidocaine and bupivacaine in the isolated perfused rabbit heart. *Anesth Analg* 1993;77:469-76

93 de La Coussaye JE, Eledjam JJ, Bruelle P, Lefrant JY, Bassoul B, Peray PA, Desch G, Sassine A. Mechanisms of the putative cardioprotective effect of hexamethonium in anesthetized dogs given a large dose of bupivacaine. *Anesthesiology* 1994;80:595-605

94 Collins JG, Kitahata LM, Matsumoto M, Homma E, Suzukawa M. Spinally administered epinephrine suppresses noxiously evoked activity of WDR neurons in the dorsal horn of the spinal cord. *Anesthesiology* 1984;60:269-75

95 Murata K, Nakagawa I, Kumeta Y, Kitahata LM, Collins JG. Intrathecal clonidine suppresses noxiously evoked activity of spinal wide dynamic range neurons in cats. *Anesth Analg* 1989;69:185-91

96 Sullivan AF, Dashwood MR, Dickenson AH. Alpha-2 adrenoreceptor modulation of nociception in rat spinal cord : location, effects, and interactions with morphine. *Eur J Pharmacol* 1987;138:169-77

97 Hayashi Y, Maze M. Alpha 2 adrenoreceptor agonists and anaesthesia. *Br J Anaesth* 1993;71:108-18

98 Eisenach JC, De Kock M, Klimscha W. Alpha 2 adrenergic agonists for regional anesthesia. *Anesthesiology* 1996;85:655-74

99 Lee JJ, Rubin AP. Comparison of a bupivacaine-clonidine mixture with plain bupivacaine for caudal analgesia in children. *Br J Anaesth* 1994;72:258-62

100 Jamali S, Monin S, Begon C, Dubousset AM, Écoffey C. Clonidine in pediatric caudal anesthesia. *Anesth Analg* 1994;78:663-6

101 Motsch J, Bottinger BW, Bach A, Böhrer H, Skoberne T, Martin E. Caudal clonidine and bupivacaine for combined epidural and general anaesthesia in children. *Acta Anaesthesiol Scand* 1997;41:877-83

102 Cook B, Doyle E. The use of additives to local anaesthetic solutions for caudal epidural blockade. *Paediatr Anaesth* 1996;6:353-9

103 Klimscha W, Sauberer A, Lerche A, Langenecker S, Semsroth M. Caudal block with clonidine provides prolonged analgesia after ambulatory hernia repair in children [abstract]. *Anesthesiology* 1994;81:A952

104 Ivani G, Mattioli G, Rega M, Conio A, Jasonni V, de Negri P. Clonidine-mepivacaine mixture vs plain mepivacaine in paediatric surgery. *Paediatr Anaesth* 1996;6:111-14

105 Beauvoir C, Rochette A, Raux O, Ricard C, Canaud N, d'Athis

F. Clonidine prolongation of caudal anesthesia in children [abstract]. *Anesthesiology* 1994;81:A1347
106 Rochette A, Beauvoir C, Raux O, Canaud N, Evrard O, Ricard C, d'Athis F. Clonidine prolongation of epidural blockade in children [abstract]. *Anesthesiology* 1994;81:A1340
107 Constant I, Gall O, Gouyet L, Chauvin M, Murat I. Which adjuvant for caudal anesthesia in children : clonidine vs fentanyl [abstract]. *Anesthesiology* 1996;85:A1103
108 Maze M, Tranquilli W. Alpha-2 adrenoreceptor agonists: defining the role in clinical anesthesia. *Anesthesiology* 1991;74:581-605
109 Penon C, Écoffey C, Cohen SE. Ventilatory response to carbon dioxide after epidural clonidine injection. *Anesth Analg* 1991;72:761-4
110 Singelyn FJ, Dangoisse M, Bartholomee S, Gouverneur JM. Adding clonidine to mepivacaine prolongs the duration of anesthesia and analgesia after axillary brachial plexus block. *Reg Anesth* 1992;17:69-74
111 Singelyn FJ, Muller G, Gouverneur JM. Adding fentanyl and clonidine to mepivacaine results in a rapid in onset and prolonged anesthesia and analgesia after brachial plexus blockade [abstract]. *Anesthesiology* 1991;75:A653
112 Montasser AM. Clinical effects of addition of clonidine to local anesthetics in peribulbar block. *Anesth Analg* 1995;80:S321
113 Gillart T, Bazin JE, Brandely C, Raynaud C, Schoeffler P. Effects of local clonidine for prolongation of akinesia after peribulbar block [abstract]. *Anesthesiology* 1994;81:A941
114 Yaksh TL, Rudy TA. Analgesia mediated by a direct spinal action of narcotics. *Science* 1976;192:1357-8
115 Kaneko M, Saito Y, Kirihara Y, Collins JG, Kosaka Y. Synergistic antinociceptive interaction after epidural coadministration of morphine and lidocaine in the rat. *Anesthesiology* 1994;80:137-50
116 Krane EJ, Jacobson LE, Lynn AM, Parrot C, Tyler DC. Caudal morphine for postoperative analgesia in children: a comparison with caudal bupivacaine and intravenous morphine. *Anesth Analg* 1987;66:647-53
117 Jensen BH. Caudal block for postoperative pain relief in children after genital operations. A comparison between bupivacaine and morphine. *Acta Anaesthesiol Scand* 1981;25:373-5
118 Wolf AR, Hughes D, Wade A, Mather SJ, Prys-Roberts C. Post operative analgesia after paediatric orchidopexy: evaluation of bupivacaine-morphine mixture. *Br J Anaesth* 1990;64:430-5
119 Valley RD, Bailey AG. Caudal morphine for postoperative analgesia in infants and children: a report of 138 cases. *Anesth Analg* 1991;72:120-4
120 Karl HW, Tyler DC, Krane EJ. Respiratory depression after low dose caudal morphine. *Can J Anaesth* 1996;43:1065-7
121 Benlabed M, Écoffey C, Levron JC, Flaisler B, Gross JB. Analgesia and ventilatory response to CO_2 following epidural sufentanil in children. *Anesthesiology* 1987;67:948-51
122 Lejus C, Roussiere G, Testa S, Ganansia MF, Meignier M, Souron R. Postoperative extradural analgesia in children: comparison of morphine with fentanyl. *Br J Anaesth* 1994;72:156-9
123 Jones RD, Gunawardene WM, Yeung CK. A comparison of lidocaine 2% with adrenaline 1:200,000 and lidocaine 2% with adrenaline 1:200,000 plus fentanyl as agents for caudal anaesthesia in children undergoing circumcision. *Anaesth Intensive Care* 1990;18:194-9
124 Campbell F, Yentis SM, Fear D, Bissonnette B. Caudal fentanyl-bupivacaine for analgesia in children. *Can J Anaesth* 1992;39:661-4
125 Moine P, Écoffey C. Bloc caudal chez l'enfant : analgésie et effets respiratoires de l'association bupivacaïne-fentanyl. *Ann Fr Anesth Réanim* 1992;11:141-4
126 Scott DA, Beilby DS, McClymont C. Postoperative analgesia using epidural infusions of fentanyl with bupivacaine. A prospective analysis of 1,014 patients. *Anesthesiology* 1995;83:727-37
127 Brockway MS, Noble DW, Sharwood-Smith GH, McClure JH. Profound respiratory depression after extradural fentanyl. *Br J Anaesth* 1990;64:243-5
128 Stevens CW, Monasky MS, Yaksh TI. Spinal infusion of opiate and alpha-2 agonists in rats: tolerance and cross tolerance studies. *J Pharmacol Exp Ther* 1988;244:63-70
129 Bailey PL, Sperry RJ, Johnson GK, Eldredge SJ, East TD, Pace NL, Stanley TH. Respiratory effects of clonidine alone and combined with morphine in humans. *Anesthesiology* 1991;74:43-8
130 Delaunay L, Leppert C, Dechaubry V, Baubiller E, Bonnet F. Epidural clonidine decreases postoperative requirements for epidural fentanyl. *Reg Anesth* 1993;18:176-80
131 Naguib M, Sharif AMY, Seraj M, el Gammal M, Dawlatly AA. Ketamine for caudal analgesia in children: comparison with caudal bupivacaine. *Br J Anaesth* 1991;67:559-64
132 Kamal RS, Khan FA. Caudal analgesia with buprenorphine for post operative pain relief in children. *Paediatr Anaesth* 1995;5:101-6
133 Moore DC, Batra M. The components of an effective dose test prior to epidural block. *Anesthesiology* 1981;55:693-6
134 Fisher QA, Shaffner DH, Yaster M. Detection of intravascular injection of regional anaesthetics in children. *Can J Anaesth* 1997;44:592-8
135 Veyckemans F, Van Obbergh LJ, Gouverneur JM. Lessons from 1,100 pediatric caudal blocks in a teaching hospital. *Reg Anesth* 1992;17:119-25
136 Desparmet JF, Matéo J, Écoffey C, Mazoit JX. Efficacy of an epidural test dose in children anesthetized with halothane. *Anesthesiology* 1990;72:249-51
137 Felberg MA, Berkowitz RA, Chowdhury P, McDonald TB. Variable epinephrine concentrations in local anesthetic test doses for caudal anesthesia in pediatric patients [abstract]. *Anesthesiology* 1996;85:A1073
138 Freid EB, Bailey AG, Valley RD. Electrocardiographic and hemodynamic changes associated with unintentional intravascular injection of bupivacaine with epinephrine in infants. *Anesthesiology* 1993;79:394-8
139 Darrow EJ, Badgwell JM, Heavner JE, Neese S. Bupivacaine and epinephrine act synergistically to produce ventricular arrhythmia in young pigs [abstract]. *Anesthesiology* 1994;81:A1357
140 Liu SS, Carpenter RL. Hemodynamic responses to intravascular injection of epinephrine-containing epidural test-doses in adults during general anesthesia. *Anesthesiology* 1996;84:81-7
141 Sethna NF, Sullivan LJ, McGowan F, Berde CB. Hemodynamic responses to intravascular injection of epinephrine - containing epidural test-dose in children anesthetized with isoflurane [abstract]. *Anesthesiology* 1996;85:A1086
142 Guinard JP, Mulroy MF, Carpenter RL, Knopes KD. Test doses: optimal epinephrine content with and without acute beta-adrenergic blockade. *Anesthesiology* 1990;73:386-92
143 Johnson PW, Hom M, Mulroy MF. Adequacy of automated blood pressure cuffs with epinephrine test doses in beta blocked patients [abstract]. *Anesthesiology* 1987;67:A187
144 Desparmet JF, Berde CB, Schwartz DC, Lunn RJ, Hershenson MB. Efficacy of adrenaline, lidocaine-adrenaline and isoprenaline as a test dose in halothane anesthetized lambs. *Eur J Anaesthesiol* 1991;8:123-5
145 Krozek-Langenecker S, Chiari A, Semsroth M. Simulation of an epidural test dose with intravenous isoproterenol in awake and in halothane-anesthetized children. *Anesthesiology* 1996;85:277-80

146 Mulroy MF. Epidural test doses. *Anesth Clin North Am* 1992;10:45-58
147 Auroy Y, Narchi P, Messiah A, Rouvier B, Samii K. Enquête prospective sur les complications toxiques systémiques des anesthésies locorégionales en France [résumé]. *Ann Fr Anesth Réanim* 1995;14:R218
148 Colizza WA, Said E. Intravenous regional anesthesia in the treatment of forearm and wrist fractures and dislocations in children. *Can J Surg* 1993;36:225-8
149 Lai YY, Chang CL, Yeh FC. The site of action of lidocaine in intravenous regional anesthesia. *Ma Tsui Hsueh Tsa Chi* 1993;31:31-4
150 Sparks CJ, Rudkin GE, Agiomea K, Fa'arondo JR. Inguinal field block for adult inguinal hernia repair using a short-bevel needle. Description and clinical experience in Solomon Islands and an Australian teaching hospital. *Anaesth Intensive Care* 1995;23:143-8
151 Scott RA, Jakeman CM, Perry SR, Acharya PA. Peribulbar anaesthesia and needle length. *J R Soc Med* 1995;88:594P-6
152 Kapral S, Krafft P, Gosch M, Fleischmann D, Weinstabl C. Ultrasound imaging for stellate ganglion block: direct visualization of puncture site and local anesthetic spread. A pilot study. *Reg Anesth* 1995;20:323-8
153 Selander D, Edshage S, Wolff T. Paraesthesia or no paraesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand* 1979;23:27-33
154 Chambers WA. Peripheral nerve damage and regional anesthesia. *Br J Anaesth* 1992;69:429-30
155 Stan TC, Krantz MA, Solomon DL, Poulos JG, Chaouki K. The incidence of neurovascular complications following axillary brachial plexus block using a transarterial approach. A prospective study of 1,000 consecutive patients. *Reg Anesth* 1995;20:486-92
156 Bashein G, Haschke RH, Ready LB. Electrical nerve location: numerical and electrophoretic comparison of insulated vs uninsulated needles. *Anesth Analg* 1984;63:919-24
157 Mylrea KC, Hameroff SR, Calkins JM, Blitt CD, Humphrey LL. Evaluation of peripheral nerve stimulators and relationship to possible errors in assessing neuromuscular blockade. *Anesthesiology* 1984;60:464-6
158 Pither CE, Raj PP, Ford DJ. The use of peripheral nerve stimulators for regional anesthesia-a review of experimental characteristics, technique and clinical applications. *Reg Anesth* 1985;10:49-58
159 Bruelle P, Mangin R, Lalourcey L, Eledjam JJ. Optimisation des blocs périphériques. *Cah Anesthesiol* 1995;43:259-66
160 Bösenberg AT. Lower limb nerve blocks in children using unsheathed needles and a nerve stimulator. *Anaesthesia* 1995;50:206-10
161 Tulchinsky A, Weller RS, Rosenblum M, Gross JB. Nerve stimulator polarity and brachial plexus block. *Anesth Analg* 1993;77:100-3
162 Iqbal J, Davis LE, Orrison WW Jr. An MRI study of lumbar puncture headaches. *Headache* 1995;35:420-2
163 Pittoni G, Toffoletto F, Calcarella G, Zanette G, Giron, GP. Spinal anesthesia in outpatient knee surgery: 22-gauge versus 25-gauge Sprotte needle. *Anesth Analg* 1995;81:73-9
164 Leiman BC, Warters RD, Katz J, Salzarulo HH, Butler BD. Minimizing friction in glass syringes for locating the epidural space. *Anesth Analg* 1987;66:S103
165 Wait CM. Identification of the epidural space. *Anaesthesia* 1987;42:1231
166 Ananthanarayan C, Fisher JA. Comment on syringe medium. *Reg Anesth* 1995;20:463
167 Chiba Y, Kakuta H. Massive subcutaneous emphysema, pneumomediastinum, and spinal epidural emphysema as complications of violent coughing: a case report. *Auris Nasus Larynx* 1995;22:205-8
168 Defouilloy C, Galy C, Lobjoie E, Strunski V, Ossart M. Epidural pneumatosis : a benign complication of benign pneumomediastinum. *Eur Respir J* 1995;8:1806-7
169 Khodadadyan C, Hoffmann R, Neumann K, Sudkamp NP. Unrecognized pneumothorax as a cause of intraspinal air. *Spine* 1995;20:838-40
170 Schneider LJ, Haller JO, Cao H. CT recognition of spinal epidural air after chest tube placement. *Pediatr Radiol* 1995;25:228
171 Ash KM, Cannon JE, Biehl DR. Pneumocephalus following attempted epidural anaesthesia. *Can J Anaesth* 1991;38:772-4
172 Dalens B, Bazin JE, Haberer JP. Epidural bubbles as a cause of incomplete analgesia during epidural anesthesia. *Anesth Analg* 1987;66:679-83
173 Valentine SJ, Jarvis AP, Shutt LE. Comparative study of the effects of air or saline to identify the extradural space. *Br J Anesth* 1991;66:224-7
174 Stevens RA, Schubert A, Mikat-Stevens M, Weinstein Z, Van Clief M. Deliberate epidural air injection in dogs: a radiographic study. *Reg Anesth* 1989;14:180-2
175 Kennedy TM, Ullman DA, Harte FA, Saberski LR, Greenhouse BB. Lumbar root compression secondary to epidural air. *Anesth Analg* 1988;67:1184-6
176 Nay PG, Milaszkiewicz R, Jothilingam S. Extradural air as a cause of paraplegia following lumbar analgesia. *Anaesthesia* 1993;48:402-4
177 Miguel R, Morse S, Murtagh R. Epidural air associated with multiradicular syndrome. *Anesth Analg* 1991;73:92-4
178 Laman EN, McLeskey CH. Supraclavicular subcutaneous emphysema following lumbar epidural anesthesia. *Anesthesiology* 1978;48:219-21
179 Naulty JS, Ostheimer GW, Datta S, Knapp R, Weiss JB. Incidence of venous air embolism during epidural catheter insertion. *Anesthesiology* 1982;57:410-2
180 Leighton BL, Gross JB. Air: an effective indicator of intravenously located epidural catheters. *Anesthesiology* 1989;71:848-51
181 Schwartz N, Eisenkraft JB. Probable venous air embolism during epidural placement in an infant. *Anesth Analg* 1993;76:1136-8
182 Sethna NF, Berde CB. Venous air embolism during identification of the epidural space. *Anesth Analg* 1993;76:925-7
183 Guinard JP, Borboen M. Probable venous air embolism during caudal anesthesia in a child. *Anesth Analg* 1993;76:1134-5
184 Jackson KE, Rauck RL. Suspected venous air embolism during epidural anesthesia. *Anesthesiology* 1991;74:190-1
185 Jaffe RA, Siegel LC, Schnittger I, Propst JW, Brock-Utne JG. Epidural air injection assessed by transesophageal echocardiography. *Reg Anesth* 1995;20:152-5
186 Petty R, Stevens R, Erickson S, Lucio J, Kao TC. Inhalation of nitrous oxide expands epidural air bubbles. *Reg Anesth* 1996;21:144-8
187 Kakazawa K, Yoshinari M, Kinefuchi S, Amaha K. Inadvertent intrathecal administration of amidetrizoate. *Intensive Care Med* 1988;15:55-7
188 Lowenwirt I, Axelrod F, Krishnamurthy U. Failure of the thiopental precipitation test to detect cerebrospinal fluid after dural puncture with current epidural solutions for labor analgesia. *Reg Anesth* 1995;20:459-60
189 Trojanowski A, Murray WB. A test to prevent subarachnoid and intravascular injections during epidural analgesia. *S Afr Med J* 1995;85:531-4
190 Candido KD, Winnie AP. A dual-chambered syringe that allows identification of the epidural space using the loss of resistance technique with air and with saline. *Reg Anesth* 1992;17:163-5

191 Glantz L, Gozal Y, Gertel M. Loss of resistance technique using both air and saline. *Reg Anesth* 1994;19:294
192 Barros S. Loss-of-resistance technique using both air and saline. *Reg Anesth* 1995;20:462
193 Kumagai M, Yamashita M. Sacral intervertebral approach for epidural anaesthesia in infants and children: application of « drip and tube » method. *Anaesth Intensive Care* 1995;23:469-71
194 Busoni P, Messeri A. Loss of resistance technique to air for identifying the epidural space in infants and children. Use an appropriate technique! *Paediatr Anaesth* 1995;5:396-9
195 Scott B. Identification of the epidural space: loss of resistance to air or saline? [Editorial]. *Reg Anesth* 1997;22:1-2
196 Saberski LR, Kondamuri S, Osinubi OYO. Identification of the epidural space: is loss of resistance to air a safe technique? A review of the complications related to the use of air. *Reg Anesth* 1997;22:3-15
197 Dalens B, Chrysostome Y. Intervertebral epidural anaesthesia in paediatric surgery: success rate and adverse effects in 650 consecutive procedures. *Paediatr Anaesth* 1991;1:107-17
198 Sethna N, Berde C. Pediatric regional anesthesia equipment. *Int Anesthesiol Clin* 1992;30:163-76
199 Reina M, Lopez A, Olmedilla MC, Goencia I. The possibility of the spinal and epidural needles of carrying out skin fragments inside of spinal channel. *Int Monit Reg Anaesth* 1996;35
200 Batnitzsky S, Keucher R, Mealey J, Campbell R. Iatrogenic Intraspinal epidermoid tumors. *Jama* 1977;237:148-50
201 Newman PJ, Bushnell TG, Radford P. The effect of the needle size and type in paediatric caudal analgesia. *Paediatr Anaesth* 1996;6:459-61
202 Patin DJ, Eckstein EC, Harum K, Pallares V. Anatomic and biomechanical properties of human lumbar dura mater. *Anesth Analg* 1993;76:535-40
203 Mulroy MF. Regional anesthetic techniques. *Int Anesthesiol Clin* 1994;32:81-98
204 Rice AS, Britton J. Neonatal spinal anesthesia. *Anesthesiol Clin North Am* 1992;10:129-44
205 Tanghe I, Vanderbrouke G. Local anaesthetic distribution with 27 gauge pencil point and Quincke needles. *Int Monitor Reg Anaest* 1996:77
206 Tuominen M. Spinal needle tip design- Does it makes any difference? *Curr Opin Anesthesiol* 1996;9:395-8
207 Lynch J, Arhelger S, Krings-Ernst I, Grond S, Zech D. Whitacre 22 gauge pencil point needle for spinal anaesthesia. A controlled trial in 300 young orthopedic patients. *Anaesth Intensive Care* 1992;20:322-5
208 Rice AS, McMahon SB. Peripheral nerve injury caused by injection needles used in regional anaesthesia: influence of bevel configuration, studied in rat model. *Br J Anaesth* 1992;69:433-8
209 Ford DJ, Pither C, Prithvi RP. Comparison of insulated and uninsulated needles for locating peripheral nerves with a peripheral nerve stimulator. *Anesth Analg* 1984;63:925-8
210 Gunter JB, Eng C. Thoracic epidural anesthesia via caudal approach in children. *Anesthesiology* 1992;76:935-8
211 Payne KA, Moore SW. Subarachnoid microcatheter anesthesia in small children. *Reg Anesth* 1994;19:237-42
212 Wedel D, Complications of regional and local anesthesia. *Curr Opin Anesthesiol* 1995;6:830-4
213 Beilin Y, Bernstein H, Zucker Pinchoff B. The optimal distance that a multiorifice epidural catheter should be threaded into the epidural space. *Anesth Analg* 1995;81:301-4
214 Berde C. Regional anesthesia in children: What we have learned? *Anesth Analg* 1996;83:897-900
215 Dalens B. Anesthésie épidurale lombaire. In: Dalens B, ed. *Anesthésie locorégionale de la naissance à l'âge adulte*. Paris : Pradel, 1993:215-60
216 Dawkins CJM. An analysis of the complications of extradural and caudal block. *Anaesthesia* 1969;24:554-63
217 Crighton IM, Barry BP, Hobbs GJ. A study of the anatomy of the caudal space using magnetic resonance imaging. *Br J Anaesth* 1997;7:391-5
218 Desparmet JF. Total spinal anesthesia after caudal anesthesia in an infant. *Anesth Analg* 1990;70:665-7
219 Dalens B. Complications in paediatric regional anaesthesia. In: Dalens B, Murat I, Bush G, eds. *Advances in paediatric anaesthesia*. Paris : ADARPEF, 1997:3-33
220 McHale J, O'Donovan FC. Postdural puncture symptoms in a child. *Anaesthesia* 1997;52:688-90
221 McMenemin IM, Sissons GRJ, Brownridge. Accidental subdural catheterization: radiological evidence of a possible mechanism for spinal cord damage. *Br J Anaesth* 1992;69:417-9
222 Gunter J. Caudal anesthesia in children: a survey. *Anesthesiology* 1991;78:A936
223 Roy WL, Bissonnette B. Flare reaction following caudal analgesia. *Can J Anaesth* 1990;37:127-9
224 Ecoffey C, Samii K. Complication neurologique après anesthésie péridurale chez un enfant de 15 ans. *Ann Fr Anesth Réanim* 1990;9:398-400
225 Faillace WJ, Warrier I, Canady AI. Paraplegia after lumbar puncture in an infant with previously undiagnosed hemophilia A. Treatment and perioperative considerations. *Clin Pediatr* 1989;28:136-8
226 Dahlgren N, Törnebrandt K. Neurological complications after anaesthesia. A follow - up of 18,000 spinal and epidural anaesthetics performed over the three years. *Acta Anaesthesiol Scand* 1995;39:872-80
227 Thomas VL. Accidents following extradural analgesia in children. The results of a retrospective study. *Paediatr Anaesth* 1995;5:396-7
228 Cohen DE, Van Duker B, Siegel S, Keon TP. Common peroneal nerve palsy associated with epidural analgesia. *Anesth Analg* 1993;76:429-31
229 Emmanuel ER. Post-sacral extradural catheter abscess in a child. *Br J Anaesth* 1994;73:548-9
230 Larsson BA, Lundeberg S, Olsson GL. Epidural abscess in a one-year-old boy after continuous epidural analgesia. *Anesth Analg* 1997;84:1245-7
231 Meunier JF, Norwood P, Dartayet B, Dubousset AM, Écoffey C. Skin abscess with lumbar epidural catheterization in infants: Is it dangerous? Report of two cases. *Anesth Analg* 1997;84:1248-9
232 McNeely JK, Rusy LM, Kehl SK. Colonization of lumbar/caudal epidural catheters in infants. *Reg Anaesth* 1996;2S:46
233 Lumb AB, Carli F. Respiratory arrest after a caudal injection of bupivacaine. *Anaesthesia* 1989;44:324-5
234 Lenox WC, Kost-Byerly S, Shipley R, Yaster M. Pediatric caudal epidural catheter sequestration: an unusual complication. *Anesthesiology* 1995;83:1112-4
235 Welborn LG, Rice LJ, Hannallah RS, Broadman LM, Ruttimann UE, Fink R. Postoperative apnea in former preterm infants: prospective comparison of spinal and general anesthesia. *Anesthesiology* 1990;73:838-42
236 Gerber AC, Baitella LC, Dangel PH. Spinal anesthesia in former preterm infants. *Paediatr Anaesth* 1993;3:153-6
237 Wright TE, Orr RJ, Haberkern CM, Walbergh EJ. Complications during spinal anesthesia in infants: high spinal blockade. *Anesthesiology* 1990;73:1290-2
238 Oberlander TF, Berde CB, Lam KH, Rappaport LA, Saul JP. Infants tolerate spinal anesthesia with minimal autonomic changes: Analysis of heart rate variability in former premature infants undergoing hernia repair. *Anesth Analg* 1995;80:20-7
239 Pascucci RC, Hershenson MB, Sethna NF, Loring SH, Stark

AR. Chest wall motion of infants during spinal anesthesia. *J Appl Physiol* 1990;68:2087-91
240 Wee LH, Lam F, Cranston AJ. The incidence of post dural puncture headache in children. *Anaesthesia* 1996;51:1164-6
241 Kokki H, Hendolin H. Comparison of 25 G and 29 G Quincke spinal needles in paediatric day case surgery. A prospective randomized study of puncture characteristics, success rate and postoperative complaints. *Paediatr Anaesth* 1996;6:115-9
242 Bears SC, Jackson A, Griffiths AG, Horsman EL. Magnetic resonance imaging of extradural blood patches: appearances from 30 min to 18 h. *Br J Anaesth* 1993;71:182-8
243 Kowbel MAM, Comfort VK. Caudal epidural blood patch for the treatment of a paediatric subarachnoid-cutaneous fistula. *Can J Anaesth* 1995;42:625-7
244 Roy L, Vischoff D, Lavoie J. Epidural blood patch in a seven-year-old child. *Can J Anaesth* 1995;42:621-4
245 Morishma HO, Pederson H, Finster M, Bruce SL, Gustche BB, Stark RI, Covino BG. Toxicity of lidocaine in adult newborn and fetal sheep. *Anesthesiology* 1981;54:182-6
246 Munson ES. Etidocaine, bupivacaine and lidocaine seizure thresholds in monkey. *Anesthesiology* 1975;42:471-8
247 Agarwal R, Gutlove DP, Lockhart CH. Seizures occurring in pediatric patients receiving continuous infusion of bupivacaine. *Anesth Analg* 1992;75:284-6
248 Bokesch PM, Castaneda AR, Zienner G, Wilson JM. The influence of a right to left cardiac shunt on lidocaine pharmacokinetics. *Anesthesiology* 1987;67:739-44
249 Ved SA, Pinosky M, Nicodemus H. Ventricular tachycardia and brief cardiovascular collapse in two infants after caudal anesthesia using bupivacaine-epinephrine solution. *Anesthesiology* 1993;79:1121-3
250 Berde C. Convulsions associated with pediatric regional anesthesia. *Anesth Analg* 1992;75:164-6
251 Lambert LA, Lambert DH, Strichartz GR. Irreversible conduction block in isolated nerve by high concentrations of local anesthetics. *Anesthesiology* 1994;80:1082-93
252 Drasner K, Sakura S, Chan V, Bollen AW, Ciriales R. Persistent sacral sensory deficit induced by intrathecal local anesthetic infusion in the rat. *Anesthesiology* 1994;80:847-52
253 Hu D, Hu R, Berde CB. Neurologic evaluation of infant and adult rats before and after sciatic nerve blockade. *Anesthesiology* 1997;86:957-65
254 Renck H. Neurological complications of central nerve blocks. *Acta Anaesthesiol Scand* 1995;39:859-68
255 Lee JA. Neurological sequelae of spinal anaesthesia. *Br J Anaesth* 1989;63:505-7
256 Wood CE, Goresky GV, Klassen KA, Neil SG. Complications of continuous epidural infusions for postoperative analgesia in children. *Can J Anaesth* 1994;41:613-20
257 Ozbek N, Sarikayalar F. Toxic methemoglobinemia after circumcision. *Eur J Pediatr* 1993;153:80
258 Murat I. Anaphylactic reactions during paediatric anaesthesia; results of the French Society of Paediat Anaesthetists. (ADARPEF) 1991-1992. *Paediatr Anaesth* 1993;31:339-43
259 Laxenaire MC, Moneret-Vautrin D.A, Widmer S, Mouton C, Geant JL. Substances responsables de chocs anaphylactiques. Enquête multicentrique française. *Ann Fr Anesth Réanim* 1990;9:501-6
260 Krane EJ. Delayed respiratory depression in a child after caudal epidural morphine. *Anesth Analg* 1988;67:79-82
261 Gustafson LL, Schildt B, Jacobson K. Adverse effects of extradural and intradural opiates; report of a nation wide survey. *Br J Anaesth* 1992;54:461-79
262 Lloyd-Thomas R, Hovard RF. A pain service for children. *Paediatr Anaesth* 1994;4:3-15
263 Attia J, Écoffey C, Sandouk, Gross JB, Samii K. Epidural morphine in children: pharmacokinetics and CO_2 sensitivity. *Anesthesiology* 1986;65:590-4
264 Krane EJ, Tyler DC, Jacobson LE. The dose response of caudal morphine in children. *Anesthesiology* 1989;71:48-52
265 Cohen SE, Ratner EF, Kreitzman TR, Archer JH, Mignano LR. Nalbuphine is better than naloxone for treatment of side effects after epidural morphine. *Anesth Analg* 1992;75:747-52
266 Krechel SW, Helikson MA. Intrathecal morphine for pain control in term infants for oesophageal atresia/tracheo-oesophageal fistula repair. *Paediatr Anaesth* 1993;3:243-7
267 Kozody R, Palahniuk RJ, Wade JG, Cumming MO. The effect of subarachnoid epinephrine and phenylephrine on spinal cord blood flow. *Can J Anaesth* 1983;30:503-8
268 Dalens B. Blocs périphériques. In: Dalens B, ed. *Anesthésie locorégionale de la naissance à l'âge adulte*. Paris : Pradel, 1993:325-52
269 Snellman LW, Stang HJ. Prospective evaluation of complications of dorsal penile nerve block for neonatal circumcision. *Pediatrics* 1996;95:705-7
270 Sara CA, Lowry CJ. A complication of circumcision and dorsal nerve block of the penis. *Anaesth Intensive Care* 1984;13:79-85
271 Dalens B, Vanneuville G, Tanguy A. A new parascalene approach to the brachial plexus in children: a comparison with supraclavicular approach. *Anesth Analg* 1987;66:1264-71
272 Lonnqvist PA, Mackenzie J, Soni AK, Conacher ID. Paravertebral blockade. Failure rate and complications. *Anaesthesia* 1995;50:813-5
273 Dalens B, Tanguy A, Vanneuville G. Lumbar plexus block in children: a comparison of two procedures in children. *Anesth Analg* 1988;67:750-8
274 Greig JD, McArdle CS. Transient femoral nerve palsy complicating preoperative ilioinguinal nerve blockade for inguinal herniorrhaphy. *Br J Surg* 1995;82:853
275 Bean-Lijewski JD. Glossopharyngeal nerve block for pain relief after pediatric tonsillectomy: retrospective analysis and two cases of life-threatening upper airway obstruction from an interrupted trial. *Anesth Analg* 1997;84:1232-8
276 McIlvaine WB, Chang JHT, Jones M. The effective use of intrapleural bupivacaïne of analgesia after thoracic and subcostal incisions in children. *J Pediatr Surg* 1988;23:1184-7
277 Rothstein P, Arthur GR, Feldman HS, Kopf GS, Govino BG. Bupivacaine for intercostal nerve block in children: blood concentrations and pharmacokinetics. *Anesth Analg* 1986;65:625-32
278 Stomskag KE, Minor B, Steen PA. Side effects and complications related to interpleural analgesia an uptake. *Acta Anaesthesiol Scand* 1990;34:473-7
279 Mazze RI, Dunbar RW. Intravenous regional anaesthesia. Report of 497 cases with a toxicity study. *Acta Anaesthesiol Scand* 1969;36:27-34
280 Dalens B. L'anesthésie locorégionale intraveineuse. In: Dalens B, ed. *Anesthésie locorégionale de la naissance à l'âge adulte*. Paris : Pradel, 1993:499-510
281 Selander D, Mansson LG, Karlsson L, Svanvik J. Adrenergic vasoconstriction in peripheral nerves of the rabbit. *Anesthesiology* 1985;62:6-10
282 Coté CJ, Zalavsky A, Downes JJ. Postoperative apnea in former infants after inguinal herniorrhaphy. A Combined analysis. *Anesthesiology* 1995;82:809-22
283 Anderson CTM, Berde CB, Sethna NF, Pribaz JJ. Meningococcal purpura fulminans: treatment of vascular insufficiency in a 2-yr-old child with lumbar epidural sympathetic blockade. *Anesthesiology* 1989;71:463-4
284 Gall H, Kaufmann R, Kalveran CM. Adverse reactions to local anesthetics: analysis of 197 cases. *J Allerg Clin Immunol* 1996;97:933-7

285 Cooper MG, Sethna NF. Epidural analgesia in patients with congenital lumbosacral spinal anomalities. *Anesthesiology* 1991;75:370-4
286 Dalens B. Anesthésie rachidienne chez l'enfant. Encycl Med Chir (Elsevier, Paris). Anesthésie-Réanimation. 36-325-C-10. 1992 :8p
287 Wilson DA, Prince JR. MR imaging determination of location of the normal conus medullaris throughout childhood. *Am J Neuroradiol* 1989;10:259-62
288 Busoni P, Sarti A. Sacral intervertebral epidural block. *Anesthesiology* 1987;67:993-5
289 Lepelley E, Dalibon N, Urvoas E, Dubousset AM, Écoffey C. Où va le cathéter péridural après une approche trans-sacrée ? [résumé] *Ann Fr Anesth Réanim* 1994 (Suppl):R298
290 Busoni P, Messeri A, Sarti A. The lumbosacral epidural block: a modified Taylor approach for abdominal urologic surgery in children. *Anaesth Intensive Care* 1991;19:325-8
291 Abajian JC, Mellish RW, Browne AF, Perkins FM, Lambert DH, Muzuzan JE Jr. Spinal anesthesia for surgery in high-risk infant. *Anesth Analg* 1984;63:359-62
292 Aronsson DD, Gemery JM, Abajian JC. Spinal anesthesia for spine and lower extremity surgery in infants. *J Pediatr Orthop* 1996;16:259-63
293 Kokki H, Hendolin H. Comparison of spinal anaesthesia with epidural anaesthesia in paediatric surgery. *Acta Anaesthesiol Scand* 1995;39:896-900
294 Krechel SW, Eggers GW Jr, Helikson MA. Intrathecal morphine for postoperative analgesia in an infant with bronchopulmonary dysplasia following upper abdominal surgery. *Paediatr Anaesth* 1996;6:423-6
295 Maccani RM, Wedel DJ, Melton A, Gronert GA. Femoral and lateral cutaneous nerve block for muscle biopsy in children. *Paediatr Anaesth* 1995;5:223-7
296 McNelly JK, Hoffman GM, Eckert JE. Postoperative pain relief in children from parascalene injection technique. *Reg Anesth* 1991;16:20-2
297 Depret V. Bloc pénien. Bloc des nerfs ilio-inguinal et ilio-hypogastrique chez l'enfant. Techniques, indications, avantages et inconvénients. *Cah Anesthesiol* 1995;43:299-303
298 Dalens B, Vanneuville G, Dechelotte P. Penile block via the subpubic space in 100 children. *Anesth Analg* 1989;69:41-5
299 Dalens B. Bloc ilioinguinal et iliohypogastrique chez l'enfant. In: Communications Scientifiques MAPAR 1997. Le Kremlin-Bicêtre: MAPAR, 1997:235-44
300 Hannallah RS, Broadman LM, Belman AB, Abramowitz MD, Epstein B. Comparison of caudal and ilioinguinal/iliohypogastric nerve blocks for control of post-orchiopexy pain in pediatric ambulatory surgery. *Anesthesiology* 1987;66:832-4
301 Trotter C, Martin P, Youngson G, Johnston G. A comparison between ilioinguinal-iliohypogastric nerve block performed by anaesthetist or surgeon for postoperative analgesia following groin surgery in children. *Paediatr Anaesth* 1995;5:363-7
302 Hinkle A. Percutaneous inguinal block for outpatient management of postherniorrhaphy in children. *Anesthesiology* 1987;67:411-3
303 Markham S, Tomlinson J, Hain W. Ilio-inguinal nerve block in children: a comparison with caudal block for intra and postoperative analgesia. *Anaesthesia* 1986;41:1098-103
304 Tobias JD, Holcomb GW 3rd, Brock JW 3rd, Morgan WM 3rd, O Dell N, Lowe S, Rasmussen GE et al. Analgesia after inguinal herniorrhaphy with laparoscopic inspection of the peritoneum in children. Caudal block versus ilioinguinal/iliohypogastric block. *Am J Anesthesiol* 1995;22:193-7
305 Eason MJ, Wyatt R. Paravertebral thoracic block - A reappraisal. *Anaesthesia* 1979;34:638-42
306 Lonnqvist PA. Continuous paravertebral block in children. Initial experience. *Anaesthesia* 1992;47:607-9
307 Lonnqvist PA, Olsson G. Paravertebral vs epidural block in children. Effects on postoperative morphine requirement after renal surgery. *Acta Anaesthesiol Scand* 1994;38:346-9
308 Richardson J, Sabanathan S, Mearns AJ, Shah RD, Goulden C. A prospective, randomized comparison of interpleural and paravertebral analgesia in thoracic surgery. *Br J Anaesth* 1995;75:405-8
309 Murphy DF. Interpleural analgesia. *Br J Anaesth* 1993;71:426-34
310 Semsroth M, Plattner O, Horcher E. Effective pain relief with continuous intrapleural bupivacaine after thoracotomy in infants and children. *Paediatr Anaesth* 1996;6:303-10
311 McIlvaine WB, Knox RF, Fennessey PV, Goldstein M. Continuous infusion of bupivacaine via intrapleural catheter for analgesia after thoracotomy in children. *Anesthesiology* 1989;69:261-4
312 Weston PJ, Bourchier D. The pharmacokinetics of bupivacaine following interpleural block in infants of very low birthweight. *Paediatr Anaesth* 1995;5:219-22
313 Kreitzer JM, Reuben SS. Central nervous system toxicity in a patient receiving continuous intrapleural bupivacaine. *J Clin Anesth* 1996;8:666-8
314 Blasier RD, White R. Intravenous regional anesthesia for management of children's extremity fractures in the emergency department. *Pediatr Emerg Care* 1996;12:404-6
315 Wiener ES, Touloukian RJ, Rodgers BM, Grosfeld JL, Smith EI, Ziegler MM, Coran AG. Hernia survey of the Section on Surgery of the American Academy of Pediatrics. *J Pediatr Surg* 1996;31:1166-9
316 Roy-Shapira A, Amoury RA, Ashcraft KW, Holder TM, Sharp RJ. Transient quadriceps paresis following local block for postoperative pain control. *J Pediatr Surg* 1985;20:554-5
317 Derrick JL, Aun CS. Transient femoral nerve palsy after ilioinguinal block [letter]. *Anaesth Intensive Care* 1996;24:115
318 Harrison CA, Morris S, Harvey JS. Effect of ilioinguinal and iliohypogastric nerve block and wound infiltration with 0.5% bupivacaine on postoperative pain after hernia repair. *Br J Anaesth* 1994;72:691-3
319 Casey WF, Jo Rice L, Hannallah RS, Broadman L, Norden JM, Guzzetta P. A comparison between bupivacaine instillation versus ilioinguinal/iliohypogastric nerve block for postoperative analgesia following inguinal herniorrhaphy in children. *Anesthesiology* 1990;72:637-9
320 Lawhorn CD, Brown RE, Schmitz ML, Vollers JM, Huggins DP, Kymer PJ, Shirey R. Comparison of caudal vs local infiltration in pediatric patients undergoing genitourinary procedures [abstract]. *Anesthesiology* 1993;79:A1134
321 Yeoman PM, Cooke R, Hain WR. Penile block for circumcision? A comparison with caudal blockade. *Anesthesiology* 1983;38:863-6
322 Chambers FA, Lee J, Smith J, Casey W. Post-circumcision analgesia: comparison of topical analgesia with dorsal nerve block using the midline and lateral approaches. *Br J Anaesth* 1994;73:437-9
323 Taddio A, Stevens B, Craig K, Rastogi P, Ben-David S, Shennan A, Mulligan P, Koren G. Efficacy and safety of lidocaine-prilocaine cream for pain during circumcision. *N Engl J Med* 1997;336:1197-201
324 Hofstede F, Klewiet de Jonge M, Bergmeijer JH, Gobbee DE, Meursing AEE. EMLA in comparison with placebo cream and caudal block for circumcision in boys under general anesthesia [abstract]. *Anesthesiology* 1995;83:A1139
325 Lee JJ, Forrester P. EMLA for postoperative analgesia for day

case circumcision in children. A comparison with dorsal nerve of penis block. *Anaesthesia* 1992;47:1081-3
326 Pinnock CA, Fischer HBJ, Jones RP. Scrotal infiltration. In: Pinnock CA, Fischer HBJ, Jones RP, eds. *Peripheral nerve blockade*. London : Churchill-Livingstone, 1996;95
327 Courrèges P, Poddevin F, Lecoutre D. Para-umbilical block: a new concept for regional anaesthesia in children. *Paediatr Anaesth* 1997;7:211-4
328 Ferguson S, Thomas V, Lewis I. The rectus sheath block in paediatric anaesthesia: new indications for an old technique? *Paediatr Anaesth* 1996;6:463-6
329 Bösenberg AT, Bland BAR, Schulte-Steinberg O, Downing JW. Thoracic epidural anesthesia via caudal route in infants. *Anesthesiology* 1988;69:265-9
330 Rasch DK, Webster DE, Pollard TG, Gurkowski MA. Lumbar and thoracic epidural analgesia via caudal approach for postoperative pain relief in infants and children. *Can J Anaesth* 1990;37:359-62
331 Van Niekerk J, Bax Vermeire BM, Geurts JW, Kramer PP. Epidurography in premature infants. *Anesthesiology* 1990;45:722-5
332 Stayer SA, Pasquariello CA, Schwartz RE, Balsara RK, Lear BR. The safety of continuous pleural lignocaine after thoracotomy in children and adolescents. *Paediatr Anaesth* 1995;5:307-10
333 Cheung SLW, Booker PD, Franks R, Pozzi M. Serum concentrations of bupivacaine during prolonged continuous paravertebral infusion in young infants. *Br J Anaesth* 1997;79:9-13
334 Rosen KR, Rosen DA. Caudal epidural morphine for control of pain following open heart surgery in children. *Anesthesiology* 1989;70:418
335 Saint-Raymond S, O'Donovan F, Écoffey C. Critères de sortie après anesthésie caudale chez l'enfant. *Cah Anesthesiol* 1990;38:246-8
336 Quinot JF, Coquelin G. Anesthésie caudale transsacrée en pratique ambulatoire chez l'enfant. Notre expérience. *Cah Anesthesiol* 1993;41:347-8
337 Gunter JB, Dunn CM, Bennie JB, Pentecost DL, Bower RJ, Ternberg JL. Optimum concentration of bupivacaine for combined caudal-general anesthesia in children. *Anesthesiology* 1991;75:57-61
338 Burns AM, Shelly MP, Dewar AK. Caudal analgesia for pediatric day case surgery: assessment of motor function prior to discharge. *J Clin Anesth* 1990;2:27-30
339 Dohi S, Naito H, Takahashi T. Age-related changes in blood pressure and duration of motor block in spinal anesthesia. *Anesthesiology* 1979;50:319-23
340 Kurth CD, Spitzer AR, Broennle AM, Downes JJ. Postoperative apnea in preterm infants. *Anesthesiology* 1987;66:483-8
341 Watcha MF, Thach BT, Gunter JB. Postoperative apnea after caudal anesthesia in an ex-premature infant. *Anesthesiology* 1989;71:613-5
342 Henneberg SW, Hole P, Madsen DE, Haas I, Jensen PJ. Epidural morphine for postoperative pain relief in children. *Acta Anaesthesiol Scand* 1993;37:664-7
343 Robbins KB, Prentiss JE. Prolonged headache after lumbar puncture. Successful treatment with an epidural blood patch in a 12-year-old boy. *Clin Pediatr (Phila)* 1990;29:350-2
344 Holt HM, Andersen SS, Andersen O, Gahrn-Hansen B, Siboni K. Infections following epidural catheterization. *J Hosp Infect* 1995;30:253-60
345 Jacobsen FS, Sullivan B. Spinal epidural abscesses in children. *Orthopedics* 1994;17:1131-8
346 Larsson BA, Lundeberg S, Olsson GL. Epidural abscess in a one-year-old boy after continuous epidural analgesia. *Anesth Analg* 1997;84:1245-7
347 Peutrell JM, Hughes DG. A grand mal convulsion in a child in association with a continuous epidural infusion of bupivacaine. *Anaesthesia* 1995;50:563-4
348 Mevorach DL, Perkins FM, Isaacson SA. Bupivacaine toxicity secondary to continuous caudal epidural infusion in children. *Anesth Analg* 1993;77:1305-6
349 Ready LB, Loper KA, Nessly M, Wild L. Postoperative epidural morphine is safe on surgical ward. *Anesthesiology* 1991;75:452-6
350 Girotra S, Kumar S, Rajendran KM. Caudal buprenorphine for postoperative analgesia in children: a comparison with intramuscular buprenorphine. *Acta Anaesthesiol Scand* 1993;37:361-4
351 Serlin S. Single-dose caudal epidural morphine in children: safe, effective, and easy. *J Clin Anesth* 1991;3:386-90
352 Berde CB, Sethna NF, Levin L, Retik A, Millis M, Lillehei C, Micheli L. Regional analgesia on pediatric medical and surgical wards. *Intensive Care Med* 1989;15:S40-3
353 Tobias JD, Oakes L, Austin BA. Pediatric analgesia with epidural fentanyl citrate administered by nursing staff. *South Med J* 1992;85:384-7
354 Brenn BR, Rose JB. Pediatric pain services: monitoring for epidural analgesia in the non-intensive care unit setting. *Anesthesiology* 1995;83:432-3
355 Rawal N, Wattwil M. Respiratory depression after epidural morphine. *Anesth Analg* 1984;63:8-14
356 Morton CPJ, Armstrong PJ, McClure JH. Continuous subarachnoid infusion of local anaesthetic. *Anaesthesia* 1993;48:333-6
357 Holland R, Anderson B, Watson T, McCall E. Introduction of continuous regional techniques for postoperative paediatrics patients. One year's experience for two hospitals. *N Z Med J* 1994;107:80-2
358 Mubarak SJ, Wilton NCT. Compartment syndromes and epidural analgesia. *J Pediatr Orthop* 1997;17:282-4
359 Calamandrei M, Andreuccetti T, Crescioli M, Messeri A, Sarti A, Sestini G, Busoni P. Effets de l'ondansetron et du métoclopramide sur les nausées et vomissements postopératoires après anesthésie péridurale chez l'enfant. *Cah Anesthesiol* 1994;42:19-23
360 Rose JB, Francis MC, Kettrick RG. Continuous naloxone infusion in paediatric patients with pruritus associated with epidural morphine. *Paediatr Anaesth* 1993;3:255-8