

Les bonnes pratiques en ALR périopératoire pédiatrique en 2018

Christophe Dadure, Chrystelle Sola, Laurent Hertz

Département d'anesthésie-réanimation Femme-enfant, CHU Lapeyronie, University de Montpellier, 371 avenue du doyen Gaston Giraud, 34258 Montpellier cedex 5

Auteur correspondant : Christophe Dadure
Email : c-dadure@chu-montpellier.fr

Conflits d'intérêts : Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts.

Points Essentiels

- Les techniques neuro-axiales sont de plus en plus abandonnées au profit des techniques de blocs périphériques.
- La proportion de bloc caudal réalisé en France est de plus en plus faible.
- Les blocs du tronc sont les blocs périphériques les plus fréquemment réalisés chez l'enfant.
- A l'exception de la rachianesthésie, il faut privilégier les anesthésiques locaux lévogyres aux concentrations les plus faibles possibles.
- L'échographie est devenu un outil indispensable pour la réalisation de la plupart des anesthésies locorégionales chez l'enfant, permettant une position précise de l'extrémité de l'aiguille et une diminution des posologies d'anesthésiques locaux utilisés.

Introduction

Depuis les premières publications sur le sujet dans les années 1950, l'anesthésie locorégionale (ALR) a connu un incroyable essor et joue un rôle clé dans l'approche multimodale de la gestion de la douleur postopératoire chez l'enfant. Le développement de matériel adapté à la morphologie de l'enfant et l'utilisation d'anesthésiques locaux de longue durée d'action moins cardiotoxique, comme la ropivacaïne ou la lévobupivacaïne, permettent de réaliser ces techniques de manière plus facile et plus sûre. L'analyse de la littérature retrouve de nombreuses publications, avec de grands effectifs, soulignant la sûreté de la réalisation de ces procédures par le taux très faible de complications graves chez l'enfant [1,2].

En France, l'ALR pédiatrique est en mutation. La dernière étude épidémiologique de l'ADARPEF [1], ainsi que l'extrapolation des données de l'étude européenne APRICOT [3], montre une régression significative des blocs centraux, et principalement du bloc caudal, au profit des blocs nerveux périphériques. Ainsi, l'analyse des données françaises de l'étude APRICOT montre que l'anesthésie caudale ne représenterait plus que 9% des ALR réalisées en France [3], alors qu'elle représentait 50% de ces techniques en 1996 [4]. Les principales procédures d'ALR réalisées chez l'enfant sont à ce jour les blocs du tronc qui représente plus de 50% des cas [3]. Nous nous efforcerons donc de faire un tour d'ensemble des principaux blocs utilisés actuellement en anesthésie pédiatrique. L'utilisation de l'ALR chez l'enfant principalement sous anesthésie générale ou sédation, masque des signes cliniques facilement identifiables chez un patient éveillé. Même si les complications de l'ALR pédiatrique sont rares, cela ne dédouane pas de règles de sécurité importantes. Nous rappellerons dans ce manuscrit les principales mesures de surveillance à mettre en place afin d'éviter tout incident.

Quand la chirurgie est pourvoyeuse de fortes douleurs postopératoires ou nécessite une physiothérapie active en postopératoire, l'ALR doit être maintenu dans les jours qui suivent la

chirurgie. Le bloc périnerveux continu reste la meilleure technique pour obtenir une analgésie de qualité durant cette période pouvant être réalisée au domicile de l'enfant. Nous aborderons donc les modalités de surveillance des cathétters mis en place durant la chirurgie afin que ces procédures soient les plus efficaces et sûres possibles.

1. Les principales techniques d'ALR réalisées en anesthésie pédiatrique.

1.1 Les blocs centraux

Même si elle est de moins en moins pratiquée en France, l'anesthésie caudale est une des techniques d'ALR les plus pratiquées dans le monde en anesthésie pédiatrique. L'enfant présente des spécificités anatomiques au niveau du sacrum [5]. Jusqu'à l'âge de 1 an, les 5 vertèbres sacrées sont bien identifiables et ont l'aspect de vertèbres lombaires. Chaque vertèbre sacrée comprend 5 centres primitifs d'ossification qui vont se souder entre 2 et 6 ans. Le bloc caudal est donc l'équivalent d'une anesthésie péridurale par voie sacrée basse à travers la membrane sacro-coccygienne. L'anesthésie caudale permet d'obtenir une analgésie allant de l'ombilic jusqu'aux pieds. Ainsi toute intervention intéressant ces territoires peut être une indication à une anesthésie caudale. Cependant, l'anesthésie caudale a été mise en cause récemment comme pourvoyeuse de complications chirurgicales postopératoires après chirurgie d'hypospade [7-9]. Ainsi la réalisation d'une caudale provoquerait entre 3,7 et 13 fois plus de risque de développer une complication chirurgicale postopératoire (fistule cutanéo-urétrale ou disjonction de cicatrice) qu'avec un bloc pénien [7,9]. Ce phénomène serait causé par le bloc sympathique et la vasodilatation des sinus du pénis dus à la caudale, conduisant à un engorgement veineux. Mais cette relation de causalité est remise en doute par certains autres auteurs [10,11]. La réalisation d'un bloc caudal à l'aide de l'échographie a

montré tout son intérêt ces dernières années. La visualisation de l'injection de l'anesthésique local (AL) avec le décollement antérieur de la duremère postérieur est un signe permettant de prédire le succès du bloc [12]. L'échographie permet également de plus facilement identifier les cornes sacrées ainsi que la membrane sacro-coccygienne, et de voir la progression de l'aiguille tout au long de la réalisation de ce bloc et ainsi augmenter le taux de succès lors de la 1^{re} ponction [13]. La réalisation du bloc caudal peut être rendue difficile après 8-10 ans par l'ossification de la membrane sacro-coccygienne recouvrant les cornes sacrées empêchant la ponction de celui-ci.

L'intérêt de la rachianesthésie chez un nouveau-né vigile pour la chirurgie sous ombilicale est rapporté depuis de nombreuses années comme une technique permettant de réduire l'incidence des complications respiratoires et notamment le risque d'apnées postopératoires [14]. La dernière mise à jour de la revue Cochrane, comparant AG versus rachianesthésie pour cure de hernie inguinale chez le nouveau-né, faisait état d'une réduction de près de 47% du risque d'apnée postopératoire notamment en l'absence de toute administration associée d'agent sédatif [15]. Récemment, une étude portant sur une importante série prospective, a évalué les effets de l'anesthésie locorégionale seule comparée à une anesthésie générale sur le développement neurocognitif de nourrissons de moins de 60 semaines d'âge post-conceptionnel devant bénéficier d'une herniorraphie [16]. L'incidence totale d'épisodes d'apnée postopératoire était similaire entre les 2 techniques: 25 patients (3%) ont présenté au moins un épisode d'apnée, 10 dans le groupe RA et 15 dans le bras AG. Comme attendu, le principal facteur de risque retrouvé était la prématurité. Néanmoins, le risque d'apnée précoce et la nécessité d'une intervention thérapeutique significative sont apparus plus faibles dans le groupe locorégional. Néanmoins, il est important de noter qu'une surveillance aigue de la saturation périphérique et de la fréquence cardiaque est nécessaire durant les 12 premières heures postopératoires.

La réalisation d'une anesthésie péridurale chez un enfant présente quelques spécificités qui sont rattachées principalement à l'anatomie du rachis de l'enfant [5], ne présentant qu'une seule courbure à concavité antérieure à la naissance (cyphose). Ainsi jusqu'à l'installation de la lordose lors de l'acquisition de la marche, les apophyses épineuses restent parallèles et l'introduction de l'aiguille entre celles-ci dans l'espace péridural se fait perpendiculairement au plan du dos. Il faut être prudent lors de la réalisation du geste car l'ossification des vertèbres lombaires est très peu développée à la naissance et il y a des risques de lésions des structures cartilagineuses. Du point de vue hémodynamique, contrairement à l'adulte, un bloc péridural lombaire étendu n'a que peu d'effet (pas d'hypotension ou bradycardie) chez un enfant normo-volémique en dessous de 5 ans [17].

1.2 Les blocs périphériques

Les blocs du tronc sont les blocs les plus fréquemment réalisés en anesthésie pédiatrique en France. Leur réalisation dépend des indications chirurgicales. On distingue les blocs pour la chirurgie inguinale ou inguino-scrotale qui regroupe le bloc ilio-inguinal ilio-hypogastrique et le bloc du plan abdominal transverse ; et les blocs pour la chirurgie pénienne qui regroupe le bloc pénien et le bloc du nerf pudendal. Si les indications du bloc ilio-inguinal ilio-hypogastrique se limite à la chirurgie inguinale ; le bloc du plan abdominal transverse est devenu extrêmement populaire car il peut être utilisé plus largement pour l'analgésie lors de laparotomie (incision de Mc Burney pour appendicectomie), de laparoscopie, greffe rénale, ou de prise de greffe osseuse sur la crête iliaque. La réalisation de ces deux techniques à l'aide de l'échographie a montré tout son intérêt en termes de sécurité et de diminution des doses d'anesthésiques locaux injectés [18,19]. Willschke et al ont montré que le volume total d'AL utilisé dans le groupe bloc ilio-inguinal ilio-hypogastrique échoguidé était significativement

inférieur à celui réalisé par la technique traditionnelle de sensation de ressaut au passage des fascias (respectivement 0,19 ml/kg vs 0,3 ml/kg de lévobupivacaïne 0,25%) [18]. De la même manière, Sola et al ont montré que la posologie adaptée pour la réalisation d'un bloc du plan abdominal transverse échoguidé chez l'enfant était de 0,4 mg/kg de lévobupivacaïne (soit 0,2 ml/kg de lévobupivacaïne 0,2%) [19]. Dans une autre champs d'action, le bloc pénien a longtemps été considéré comme le « gold standard » pour la chirurgie pénienne. Récemment plusieurs publications ont démontré l'intérêt du bloc pudendal. Le bloc pudendal serait supérieur en terme d'analgésie après chirurgie de circoncision ou d'hypospade au bloc pénien ou au bloc caudal [20-22]. Lors de la chirurgie d'hypospade, Naja et al ont ainsi montré une diminution significative du nombre d'enfant nécessitant un antalgique en postopératoire dans le groupe pudendal comparé au groupe caudal, ainsi qu'une diminution de la consommation d'antalgique postopératoire [20]. Les auteurs retrouvèrent des scores de douleur postopératoire significativement différents à partir de la 12^{ème} heures postopératoire. De la même manière, ces mêmes auteurs ont démontré que le bloc du nerf pudendal présentait des scores de douleur plus faibles et une durée d'analgésie plus longue que le bloc pénien dans la chirurgie de circoncision [21]. L'explication viendrait principalement de l'innervation de la partie ventrale du pénis par le nerf périnéal, branche du nerf pudendal, non couvert par le bloc pénien [23]. De plus, ce bloc peut maintenant être réalisé à l'aide de l'échographie afin de savoir où se situe exactement l'injection de l'AL [24,25]. Le bloc pudendal peut être associé au bloc du plan abdominal transverse ou bloc ilio-inguinal ilio-hypogastrique pour l'analgésie de la chirurgie inguino-scorpale (orchidopexie) [25]. Enfin chez l'enfant, le bloc para-ombilical est indiqué en association avec une anesthésie générale lors des cures chirurgicales de hernies ombilicales et des pylorotomies extra-muqueuses pour sténose du pylore réalisées par abord strictement ombilical [26]. La réalisation de ce bloc par échoguidage permet d'éviter les ponctions intrapéritonéales et les positionnements d'aiguille erratiques [27].

Les blocs périphériques des membres n'ont pas de particularités importantes par rapport aux techniques adultes. Les nerfs seront plus superficiels et de plus petites tailles. La diffusion de l'AL est facilitée chez l'enfant permettant d'utiliser moins d'AL et la sensibilité des nerfs aux AL est plus importante permettant de diminuer les concentrations utilisées. L'utilisation de l'échographie va permettre d'anesthésier des nerfs sensitifs, d'éviter les échecs chez des patients présentant des variantes anatomiques [28], de diminuer les quantités d'AL utilisés en les injectant au plus près des nerfs et d'allonger les durées d'analgésie postopératoire [29,30]. Les principaux blocs périphériques réalisés au membre supérieur sont le bloc axillaire ou le bloc infraclaviculaire pour ce qui concerne la chirurgie du coude, de l'avant-bras et de la main. Mais le bloc supraclaviculaire échoguidé est parfois utilisé pour la chirurgie de l'épaule ou du bras chez l'enfant. Les principaux blocs au membre inférieur sont le bloc fémoral pour la chirurgie de la cuisse ou du genou et le bloc sciatique poplité pour la chirurgie de la cheville ou du pied [1]. La grande majorité des blocs simples des membres sont réalisables à l'aide de l'échographie chez l'enfant.

La chirurgie de la face peut également bénéficier d'une analgésie locorégionale. La principale chirurgie intéressée chez l'enfant est la chirurgie réparatrice de fente labiale ou labio-palatine. Le bloc infra-orbitaire était précédemment utilisé pour ce type de chirurgie mais il intéressait principalement les territoires de la lèvre supérieure, la face latérale de l'aile du nez et la paupière inférieure homolatéral [31]. L'analgésie obtenue avec ce bloc peut se révéler insuffisante si la chirurgie prend en compte également le palais. Dans ce cas, Le bloc du nerf maxillaire supérieur (nerf V2) par voie supra-zygomatique permettant de réaliser un bloc du nerf maxillaire au niveau de la fosse ptérygomaxillaire dès sa sortie du trou grand rond et avant l'émergence des racines nerveuses innervant le palais, semble plus approprié [32]. Les indications chirurgicales de ce bloc sont, entre autres, les fentes labio-palatinates, les

ostéotomies maxillaires supérieures type Lefort I et les greffes alvéolaires, la chirurgie du voile du palais et les dents de sagesse supérieures incluses. Le repérage échographique de la fosse ptérygomaxillaire est réalisable et permet de voir la diffusion de l'AL dans la fosse ptérygomaxillaire [33]. L'aiguille peut ainsi être réorientée en cas d'injection erratique (intramusculaire ou sous-cutanée).

2. Règles de sécurité lors de la réalisation d'une ALR chez l'enfant

En France, l'ALR est réalisée sous anesthésie générale ou sédation chez plus de 95% des enfants [1], pouvant masquer les signes de toxicité habituellement retrouvés chez un patient vigile. Aussi il est important d'appliquer des règles de sécurité élémentaires afin d'être le plus sécuritaire possible dans notre pratique.

2.1 L'intérêt de l'échographie

L'échographie a été largement utilisée depuis une dizaine d'années comme aide à la réalisation de l'ALR chez l'enfant. Outre, l'intérêt d'injecter les anesthésiques locaux au plus près des nerfs afin d'améliorer la durée d'analgésie, on retrouve dans la littérature des intérêts en termes de sécurité. Tout d'abord, l'échoguidage va permettre une diminution des posologies d'AL, variant de 33 à 50% des posologies habituelles, que ce soit pour les blocs périphériques des membres [29,30] ou du tronc [18,19]. Ces diminutions de posologies vont ainsi permettre de diminuer les risques de toxicité systémique des AL. Dans une autre idée, l'utilisation quasi systématique d'anesthésiques locaux sous forme lévogyre (exception faite de la bupivacaïne pour la rachianesthésie) permet également de réduire les risques de complications cardiaques après une ALR [34]. Les concentrations employées doivent être

plus faibles que chez l'adulte en privilégiant l'usage de la ropivacaïne 2 mg/ml ou de la lévobupivacaïne 2,5 mg/ml [35]. Les posologies doivent également être diminuées chez les nouveau-nés et les nourrissons. Les produits et concentrations recommandés, et retrouvés dans la littérature, sont la ropivacaïne 2 mg/ml pour l'enfant et 1 mg/ml pour le nourrisson. Pour ce qui est des adjuvants, seuls les opiacés pour les blocs centraux et les α_2 -agonistes (dexmédétomidine, clonidine) pour les blocs centraux et périphériques sont utilisés en périnerveux actuellement [36,37]. Enfin, il est important de noter l'intérêt de techniques de blocs centraux ou périphériques avec bolus contrôlés par l'enfant pour diminuer les posologies de ropivacaïne consommées et les concentrations plasmatiques d'AL comparées à un groupe débit continu [38,39].

L'autre intérêt sécuritaire de l'usage de l'échographie est de pouvoir visualiser l'extrémité de l'aiguille et l'injection de l'AL. La réalisation de techniques d'ALR « à l'aveugle » s'associe au risque de localisation erratique de l'injectât d'AL. Ainsi, Weintraud et al ont montré que, lors de la réalisation selon la technique de ressaut d'un bloc ilio-inguinal ilio-hypogastrique chez un enfant, 86 % des injections ne sont pas bien localisées [40]. De la même manière, la réalisation sans échographie d'un bloc du plan abdominal transverse peut entraîner 76% d'injections incorrectes dont 18% dans la cavité intra péritonéale [41].

2.2 Quelles règles de sécurité durant l'injection et quel monitorage ?

Des règles simples de bonnes pratiques peuvent également être utilisées pour sécuriser la réalisation de l'ALR chez l'enfant. Ainsi, le fractionnement des doses d'AL, et la répétition des tests d'aspiration, permettent d'injecter de manière lente et de réaliser des pauses régulières lors de l'injection [35]. Néanmoins, il est important de noter que le test d'aspiration

n'a de valeur que s'il est positif. D'autres parts, certaines équipes utilisent la neurostimulation « en sentinelle » lors de la réalisation d'un bloc périphérique échoguidé. Le principe consiste à régler la neurostimulation à 0,2 mA lors de la réalisation de son bloc. Une réponse motrice à cette faible intensité peut être le témoin d'une injection intra-neurale, même si des patients adultes n'avaient pas de réponse motrice malgré un positionnement intraneural de l'aiguille [42]. Cette technique n'a, à ce jour, pas été évaluée chez l'enfant.

Le monitorage électrocardiographique peut également être utile lors de l'injection d'anesthésique local. Plusieurs auteurs ont souligné l'intérêt de surveiller l'aspect de l'onde T lors de l'injection accidentelle ou volontaire d'un anesthésique local adrénaliné [43-47]. Varghese et al ont étudié l'aspect de l'onde T sur l'ECG, la fréquence cardiaque et la pression artérielle non-invasive chez une population d'enfants ayant eu une simulation d'injection intravasculaire d'AL adrénaliné (0,1 ml/kg de lidocaïne 1% avec adrénaline 0,5 µg/kg) [47]. Les auteurs retrouvent une modification de l'amplitude de l'onde T ($\geq 25\%$) dans plus de 90% des cas, une augmentation de la fréquence cardiaque (≥ 10 bpm) dans 64% des cas, et une augmentation de la pression artérielle systolique (≥ 15 mmHg) dans 76 % des cas. La sensibilité, la spécificité et la valeur prédictive positive retrouvées dans cet article étaient respectivement de 94%, 97% et 97% pour la modification de l'onde T, 76%, 97% et 96% pour la fréquence cardiaque et la pression artérielle systolique. Il est à noté que l'amplitude maximale de l'onde T survenait dans les 30 sec suivant l'injection [47].

La diminution de l'amplitude de l'onde de pléthysmographie a également été retrouvée comme un indicateur de l'injection intravasculaire d'une dose-test pour une analgésie péridurale chez l'adulte [48]. Les mêmes auteurs ont étudié les modifications de l'amplitude de l'onde de pléthysmographie au doigt des patients chez des enfants anesthésiés subissant une simulation d'une injection intravasculaire de lidocaïne 1% adrénalinée [49]. Ils ont retrouvé une modification de la fréquences cardiaque et de la pression artérielle non

invasive similaire aux autres études pédiatriques. Ils ont également mis en évidence une diminution significative de l'amplitude de l'onde de pléthysmographie survenant entre 40 et 200 sec après l'injection. Cette diminution est d'autant plus importante que l'enfant est endormie avec une MAC de sévoflurane plus faible ($MAC_{sevo} 0,5 > MAC_{sevo} 1$). Les auteurs ont alors rapporté une sensibilité, une spécificité, une valeur prédictive positive et négative toutes égales à 100% [49]. La pléthysmographie digitale dépend de la compliance des parois vasculaires et de la pression pulsée intravasculaire. Habituellement, l'effet des impulsions autonomes sur la distensibilité est si fort qu'il prédomine sur l'effet opposé de la pression pulsée. Plusieurs études ont montré que celle-ci était très sensible au changement du tonus vasculaire et à la stimulation sympathique ; et peut donc être considérée comme une jauge du tonus sympathique [50-52]. Les diminutions de la pléthysmographie associées à la douleur ou autre stimulus stressant sont dues à une stimulation sympathique conduisant à un relargage de catécholamine [53]. Ainsi comme avec les catécholamines endogènes, l'injection intraveineuse d'adrénaline entraîne une réduction de l'amplitude de l'onde de pléthysmographie [54].

3. Quelle surveillance pour un bloc périphérique en postopératoire

3.1 Pour un bloc simple injection.

La douleur reste la plainte la plus fréquemment retrouvée en postopératoire chez l'enfant, loin devant les nausées-vomissements ou les saignements [55]. L'ALR en simple injection permet de procurer une analgésie efficace dans les premières heures postopératoires; mais la levée du bloc analgésique peut entraîner une recrudescence de la douleur chirurgicale

[56]. La surveillance de la qualité d'analgésie par des échelles adaptées est donc primordiale. Il faut donc insister sur l'importance, lorsqu'une ALR en simple injection est réalisée pour l'analgésie postopératoire, de la prophylaxie analgésique pour la levée du bloc sensitif par la prescription d'antalgiques délivrée systématiquement et non à la demande [57]. Si il y a lieu, la surveillance de la levée ou l'absence de bloc moteur, en limitant la concentration des AL, est impérative dans les chirurgies à haut risque de syndrome des loges postopératoire [58].

1.2 Pour un bloc continu par cathéter.

L'ALR périphérique continue semble trouver tout son intérêt dans la gestion de la douleur qui se prolonge en postopératoire ou lors d'un retour à domicile des patients après des chirurgies majeures. Les blocs nerveux périphériques continus ont montré leurs avantages comparés aux blocs continus centraux en termes d'effets indésirables [59,60]. En effet, les blocs périnerveux continus entraînent moins de nausée-vomissement, moins de rétention d'urine et moins d'arrêt prématuré de l'analgésie que l'analgésie péridurale. Ces techniques peuvent également être proposées au domicile des enfants avec une qualité d'analgésie excellente [61-63]. Les effets indésirables rapportés à domicile par les études sont faibles avec principalement des complications mécaniques ou des sensations de nausées mais ne nécessitant pas une nouvelle hospitalisation [62,63]. La surveillance de l'efficacité et des complications des cathéters périnerveux est habituellement simple et facile. Ainsi, l'utilisation de blocs nerveux périphériques n'est pas contre-indiquée dans les chirurgies à risque de syndrome des loges au prix de la mise en place de protocole de surveillance bien défini [64]. La douleur étant un des signes annonciateurs d'un syndrome des loges, celle-ci peut être évaluée par les parents eux-mêmes au domicile à l'aide d'échelles spécifiques [65]. Enfin, l'utilisation de prestataires de service employant des infirmières à domicile peut également être intéressante afin de rassurer les parents, de surveiller la survenue d'une éventuelle

complication et le bon fonctionnement du cathéter, et pour réaliser l'ablation du cathéter en fin de traitement.

L'ALR est une des stratégies les plus efficaces pour lutter contre la douleur postopératoire chez l'enfant. L'usage de l'échographie comme aide à la réalisation de l'ALR est devenu indispensable dès que possible en pratique quotidienne. Les blocs en simple injection nécessiteront impérativement de prévoir une prescription systématique d'antalgiques classiques et de secours, au risque de voir apparaître une recrudescence de la douleur lors de la levée du bloc sensitif. Nombres d'anesthésistes combinent l'anesthésie générale et les techniques d'ALR pour apporter une meilleure prise en charge de la douleur postopératoire et un meilleur confort de vie durant l'hospitalisation sans craindre les complications respiratoires dues à l'utilisation de la morphine. L'ALR permet de calmer la douleur mais aussi de diminuer la réponse au stress périopératoire et d'améliorer la réhabilitation postopératoire des enfants. La bonne gestion de celle-ci chez l'enfant dépend de règles de sécurité et d'une surveillance simples et faciles à mettre en place pour éviter toutes complications secondaires.

REFERENCES :

- [1] Ecoffey C, Lacroix F, Giaufre E, Orliaguet G, Courrèges P; ADARPEF. Epidemiology and morbidity of regional anesthesia in children: a follow-up one-year prospective survey of the French-Language Society of Paediatric Anaesthesiologists (ADARPEF). *Pediatr Anesth* 2010; 20: 1061–1069.
- [2] Polaner DM, Taenzer AH, Walker BJ, Bosenberg A, Krane EJ, Suresh S, Wolf C, Martin LD. Pediatric Regional Anesthesia Network (PRAN): a multi-institutional study of the use and incidence of complications of pediatric regional anesthesia. *Anesth Analg*. 2012;115:1353-64.
- [3] Dadure C Habre W, Veyckemans F, Laffargue A. Comparaison des Pratiques de l’Anesthésie Locorégionale chez l’Enfant entre la France et l’Europe: Résultats de l’Étude Épidémiologique Européenne APRICOT. Congrès de la SFAR 2017 : R352 (abstract)
- [4] 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.
- [5] Dadure C, Sola C, Dalens B, Capdevila X. Regional anesthesia in children. In Miller’s Anesthesia 8th edition. Miller RD. Ed. Elsevier Inc. Philadelphia 2015: pp 2706-56.
- [6] Saavedra-Belaunde JA, Soto-Aviles O, Jorge J, et al. Can regional anesthesia have an effect on surgical outcomes in patients undergoing distal hypospadias surgery? *J Pediatr Urol*. 2017;13:45.e1-45.e4.

- [7] Kundra P, Yuvaraj K, Agrawal K, et al. Surgical outcome in children undergoing hypospadias repair under caudal epidural vs penile block. *Paediatr Anaesth.* 2012;22:707-12
- [8] Taicher BM, Routh JC, Eck JB, et al. The association between caudal anesthesia and increased risk of postoperative surgical complications in boys undergoing hypospadias repair. *Paediatr Anaesth.* 2017;27:688-694
- [9] Kim MH, Im YJ, Kil HK et al. Impact of caudal block on postoperative complications in children undergoing tubularised incised plate urethroplasty for hypospadias repair: a retrospective cohort study. *Anaesthesia* 2016;71: 773–778
- [10] Zaidi RH, Casanova NF, Haydar B, et al. Urethrocutaneous fistula following hypospadias repair: regional anesthesia and other factors. *Paediatr Anaesth.* 2015;25:1144-50.
- [11] Braga LH, Jegatheeswaran K, McGrath M, et al. Cause and Effect versus Confounding-Is There a True Association between Caudal Blocks and Tubularized Incised Plate Repair Complications? *J Urol.* 2017;197:845-851
- [12] Roberts SA, Guruswamy V, Galvez I. Caudal injectate can be reliably imaged using portable ultrasound--a preliminary study. *Paediatr Anaesth.* 2005;15:948-52.
- [13] Ahiskalioglu A, Yayik AM, Ahiskalioglu EO, Ekinci M, Gölboyu BE, Celik EC, Alici HA, Oral A, Demirdogen SO. Ultrasound-guided versus conventional injection for caudal block in children: A prospective randomized clinical study. *J Clin Anesth.* 2018 ;44:91-96
- [14] Rochette A, Troncin R, Raux O, Dadure C, Lubrano JF, Barbotte E, Capdevila X. Clonidine added to bupivacaine in neonatal spinal anesthesia: a prospective comparison in 124 preterm and term infants. *Paediatr Anaesth.* 2005;15:1072-7.

- [15] Jones LJ, Craven PD, Lakkundi A, Foster JP, Badawi N. Regional (spinal, epidural, caudal) versus general anaesthesia in preterm infants undergoing inguinal herniorrhaphy in early infancy. Cochrane Database Syst Rev. 2015 Jun 9;(6):CD003669.
- [16] Davidson AJ, Morton NS, Arnup SJ, de Graaff JC, Disma N, Withington DE, Frawley G, Hunt RW, Hardy P, Khotcholava M, von Ungern Sternberg BS, Wilton N, Tuo P, Salvo I, Ormond G, Stargatt R, Locatelli BG, McCann ME; General Anesthesia compared to Spinal anesthesia (GAS) Consortium. Apnea after Awake Regional and General Anesthesia in Infants: The General Anesthesia Compared to Spinal Anesthesia Study--Comparing Apnea and Neurodevelopmental Outcomes, a Randomized Controlled Trial. Anesthesiology. 2015;123:38-54.
- [17] Raux O, Rochette A, Moreau E, Dadure C, Vergnes C, Capdevila X. Cardiac output alterations related to epidural anesthesia in young children : effects of spread of block and adrenaline. A prospective, randomized, double-blind study. Anesth Analg 2004;98(4):948-55
- [18] Willschke H, Marhofer P, Bosenberg A, Johnston S, Wanzel O, Cox SG, et al. Ultrasonography for ilioinguinal/iliohypogastric nerve blocks in children. Br J Anaesth 2005;95:226-30.
- [19] Sola C, Menace C, Rochette A, Raux O, Bringuer S, Molinari N, Kalfa N, Capdevila X, Dadure C. Ultrasound-guided transversus abdominis plane block for herniorrhaphy in children: What is the optimal dose of levobupivacaine? Eur J Anaesthesiol. 2014 ;31 :327-32
- [20] Naja ZM, Ziade FM, Kamel R, et al. The effectiveness of pudendal nerve block versus caudal block anesthesia for hypospadias in children. Anesth Analg. 2013;117:1401-7.

- [21] Naja Z, Al-Tannir MA, Faysal W, et al. A comparison of pudendal block vs dorsal penile nerve block for circumcision in children: a randomised controlled trial. *Anaesthesia*. 2011;66:802-7.
- [22] Kendigelen P, Tutuncu AC, Emre S, et al. Pudendal Versus Caudal Block in Children Undergoing Hypospadias Surgery: A Randomized Controlled Trial. *Reg Anesth Pain Med*. 2016 ;41:610-5
- [23] Yang CC, Bradley WE. Innervation of the human glans penis. *J Urol*. 1999;161:97-102.
- [24] Hecht S, Piñeda J, Bayne A. Ultrasound-guided pudendal block is a viable alternative to caudal block for hypospadias surgery: a single surgeon pilot study. *Urology*. 2017 Nov 16. pii: S0090-4295(17) 31197-4.
- [25] Gaudet-Ferrand, I, De La Arena P, Bringuer S, Raux S, Hertz L, Kalfa N, Sola C, Dadure C. Ultrasound-guided pudendal nerve block in children: A new technique of ultrasound-guided transperineal approach. *Paediatr Anaesth* 2018;28:53-58
- [26] Willschke H, Kettner S. Pediatric regional anesthesia : abdominal wall block. *Paediatr Anaesth* 2012 ;22 :88-92
- [27] Dolan J, Lucie P, Geary T, Smith M, Kenny GN. The Rectus Sheath Block. Accuracy of Local Anesthetic Placement by Trainee Anesthesiologists Using Loss of Resistance or Ultrasound Guidance. *Reg Anesth Pain Med* 2009;34:247-50.
- [28] Christophe JL, Berthier F, Boillot A, Tatou L, Viennet A, Boichut N, Samain E. Assessment of topographic brachial plexus nerves variations at the axilla using ultrasonography. *Br J Anaesth* 2009, 103; 606-12
- [29] Marhofer P, Sitzwohl C, Greher M, Kapral S. Ultrasound guidance for infraclavicular brachial plexus anaesthesia in children. *Anaesthesia*. 2004;59:642-6

- [30] Oberndorfer U, Marhofer P, Bosenberg A, Willschke H, Felfernig M, Weintraud M, et al. Ultrasonographic guidance for sciatic and femoral nerve blocks in children. *Br J Anaesth* 2007;98:797-801
- [31] Takmaz SA, Uysal HY, Uysal A, Kocer U, Dikmen B, Baltaci B. Bilateral extraoral, infraorbital nerve block for postoperative pain relief after cleft lip repair in pediatric patients: a randomized, double-blind controlled study. *Ann Plast Surg.* 2009;63:59-62.
- [32] Chiono J, Raux O, Bringuer S, Sola C, Bigorre M, Capdevila X, Dadure C. Bilateral Suprazygomatic Maxillary Nerve Block for Cleft Palate Repair in Children: A Prospective, Randomized, Double-blind Study versus Placebo. *Anesthesiology.* 2014 ; 120:1362-9.
- [33] Sola C, Raux O, Savath L, Macq C, Capdevila X, Dadure C. Ultrasound guidance characteristics and efficiency of suprazygomatic maxillary nerve blocks in infants: A descriptive prospective study. *Paediatr Anaesth* 2012 ;22 :841-6.
- [34] Santos AC, DeArmas PI. Systemic toxicity of levobupivacaine, bupivacaine, and ropivacaine during continuous intravenous infusion to nonpregnant and pregnant ewes. *Anesthesiology.* 2001;95:1256-64.
- [35] Anesthésie locorégionale en pédiatrie. Recommandations d'experts 2010. www.sfar.org/referentiels/
- [36] Suresh S, Ecoffey C, Bosenberg A, Lonnqvist PA, de Oliveira GS Jr, de Leon Casasola O, de Andrés J, Ivani G. The European Society of Regional Anaesthesia and Pain Therapy/American Society of Regional Anesthesia and Pain Medicine Recommendations on Local Anesthetics and Adjuvants Dosage in Pediatric Regional Anesthesia. *Reg Anesth Pain Med.* 2018;43:211-216.

- [37] Lundblad M, Trifa M, Kaabachi O, Ben Khalifa S, Fekih Hassen A, Engelhardt T, Eksborg S, Lönnqvist PA. Alpha-2 adrenoceptor agonists as adjuncts to peripheral nerve blocks in children: a meta-analysis. *Paediatr Anaesth*. 2016;26:232-8.
- [38] Antok E, Bordet F, Duflo F, Lansiaux S, Combet S, Taylor P, et al. Patient-controlled epidural analgesia versus continuous epidural infusion with ropivacaine for postoperative analgesia in children. *Anesth Analg* 2003;97:1608-11.
- [39] Duflo F, Sautou-Miranda V, Pouyau A, Taylor P, Combet S, Chotel F et al. Efficacy and plasma levels of ropivacaine for children: controlled regional anaesthesia following lower limb surgery. *Br J Anaesth* 2006;97:250-4.
- [40] Weintraud M, Marhofer P, Bösenberg A, Kapral S, Willschke H, Felfernig M, Kettner S. Ilioinguinal/iliohypogastric blocks in children: where do we administer the local anesthetic without direct visualization? *Anesth Analg*. 2008;106:89-93
- [41] McDermott G, Korba E, Mata U, Jaigirdar M, Narayanan N, Boylan J, Conlon N. Should we stop doing blind transversus abdominis plane blocks? *Br J Anaesth*. 2012 ;108:499-502.
- [42] Tsai TP, Vuckovic I, Dilberovic F, Obhodzas M, Kapur E, Divanovic KA, Hadzic A. Intensity of the stimulating current may not be a reliable indicator of intraneuronal needle placement. *Reg Anesth Pain Med*. 2008;33:207-10
- [43] Fisher QA, Shaffner DH, Yaster M. Detection of intravascular injection of regional anaesthetics in children. *Can J Anaesth* 1997; 44: 592–598.
- [44] Tanaka M, Nishikawa T. Simulation of an epidural test dose with intravenous epinephrine in sevoflurane-anesthetized children. *Anesth Analg* 1998; 86: 952–957.
- [45] Tanaka M, Nishikawa T. Evaluating T-wave amplitude as a guide for detecting intravascular injection of a test dose in anesthetized children. *Anesth Analg* 1999;88:754–758.

- [46] Kozek-Langenecker SA, Marhofer P, Jonas K *et al.* Cardiovascular criteria for epidural test dosing in sevoflurane- and halothane-anesthetized children. *Anesth Analg* 2000; 90: 579–583.
- [47] Varghese E, Deepak KM, Chowdary KV. Epinephrine test dose in children: is it interpretable on ECG monitor? *Paediatr Anaesth*. 2009;19:1090-5.
- [48] Mowafi HA. The efficacy of plethysmographic pulse wave amplitude as an indicator for intravascular injection of epinephrine-containing epidural test dose in anesthetized adults. *Anesth Analg* 2005;101:1506–11
- [49] Mowafi HA, Arab SA, Ismail SA, Al-Ghamdi AA, Al-Metwalli RR. Plethysmographic pulse wave amplitude is an effective indicator for intravascular injection of epinephrine-containing epidural test dose in sevoflurane-anesthetized pediatric patients. *Anesth Analg*. 2008;107:1536-41.
- [50] Ezri T, Steinmetz A, Geva D, Szmuk P. Skin vasomotor reflex as a measure of depth of anesthesia. *Anesthesiology* 1998;89:1281–2
- [51] Luginbühl M, Reichlin F, Sigurdsson GH, Zbinden AM, Petersen-Felix S. Prediction of the haemodynamic response to tracheal intubation: comparison of laser-Doppler skin vasomotor reflex and pulse wave reflex. *Br J Anaesth* 2002;89:389–97
- [52] Tanaka G, Sawada Y, Yamakoshi K. Beat-by-beat double normalized pulse volume derived photoplethysmographically as a new quantitative index of finger vascular tone in humans. *Eur J Appl Physiol* 2000;81:148–54
- [53] Dorlas JC, Nijboer JA. Photo-electric plethysmography as a monitoring device in anaesthesia. *Br J Anaesth* 1985;57:524–30
- [54] Hoffman BB, Lefkowitz RJ. Catecholamines and sympathomimetic drugs. In: Hardman JG, Limbird LE, Molinoff PB, Ruddon RW, Gilman AG. Goodman and

Gilman's. The pharmacological basis of therapeutics. New York: Pergamon Press, 1996:199–284

- [55] Segerdhal M, Warren-Stomberg M, Rawal N, Brattwall M, Jakobsson J. Children in day surgery: clinical practice and routines. The results from a nationwide Survey. *Acta Anaesthesiol Scand* 2008; 52: 821–8
- [56] Kokinski E, Thornberg E, Ostlund AL, Larsson LE. Postoperative comfort in paediatric outpatient surgery *Paediatric Anaesthesia* 1999 9: 243–251
- [57] Lonnqvist PA, Morton NS. Paediatric day-case anaesthesia and pain control. *Curr Opin Anesthesiol* 2006;19:617-21.
- [58] Ivani G, Suresh S, Ecoffey C, Bosenberg A, Lonnqvist PA, Krane E, Veyckemans F, Polaner DM, Van de Velde M, Neal JM. Ivani The European Society of Regional Anaesthesia and Pain Therapy and the American Society of Regional Anesthesia and Pain Medicine Joint Committee Practice Advisory on Controversial Topics in Pediatric Regional Anesthesia. *Reg Anesth Pain Med*. 2015 Sep-Oct;40(5):526-32.
- [59] Dadure C, Bringuier S, Nicolas F, Bromilow L, Raux O, Rochette A, et al. Continuous epidural block versus continuous popliteal nerve block for postoperative pain relief after major podiatric surgery in children: a prospective comparative randomized study. *Anesth Analg* 2006;102:744-9.
- [60] Dadure C Bringuier S, Mathieu O, Raux O, Rochette A, canaud N, et al. Analgesie périphérique continue versus bloc continu du compartiment psoas pour l'analgésie postopératoire après chirurgie majeure du bassin ou du fémur chez l'enfant: étude prospective comparative randomisée. *Ann Fr Anesth Réanim* 2010; 29 :610-5.
- [61] Visoiu M, Joy LN, Grudziak JS, Chelly JE. The effectiveness of ambulatory continuous peripheral nerve blocks for postoperative pain management in children and adolescents. *Paediatr Anaesth*. 2014;24:1141-8.

- [62] Ganesh A, Rose JB, Wells L, Ganley T, Gurnaney H, Maxwell LG et al. Continuous peripheral nerve blockade for inpatient and outpatient postoperative analgesia in children. *Anesth Analg* 2007;105:1234-42.
- [63] Gurnaney H, Kraemer FW, Maxwell L, Muhly WT, Schlelein L, Ganesh A. Ambulatory continuous peripheral nerve blocks in children and adolescents: a longitudinal 8-year single center study. *Anesth Analg*. 2014;118:621-7
- [64] Sermeus L, Boeckx S, Camerlynck H, Somville J, Vercauteren M. Postsurgical compartment syndrome of the forearm diagnosed in a child receiving a continuous infra-clavicular peripheral nerve block. *Acta Anaesthesiol Belg*. 2015;66:29-32.
- [65] Chambers CT, Finley GA, McGrath PJ, Walsh TM. The parents' postoperative pain measure: replication and extension to 2-6-year-old children. *Pain*. 2003;105:437-43.