

Anesthésie pour chirurgie du rachis

Pr Nicolas Bruder

Service d'anesthésie réanimation, Centre hospitalier et universitaire de la Timone, Aix-Marseille Université, 264, rue Saint-Pierre, 13385 Marseille, cedex 05 France

Auteur correspondant : Pr Nicolas Bruder
Email : nicolas.bruder@ap-hm.fr

Conflits d'intérêts : Aucun conflit d'intérêt avec le sujet traité.

Points Essentiels

- La consultation d'anesthésie doit dépister les difficultés et les risques liés à la posture.
- Le contrôle des voies aériennes comporte des risques neurologiques et respiratoires dans les atteintes du rachis cervical, soit en raison de pathologies rachidiennes évoluées soit par instabilité du rachis.
- Lors de l'intubation, la stabilisation manuelle, une traction douce sur le laryngoscope et l'utilisation d'un vidéo-laryngoscope limitent la mobilisation du rachis. La fibroscopie est la technique de choix pour la chirurgie réglée.
- La chirurgie majeure du rachis (ostéosynthèses étendues) et la chirurgie tumorale comportent un risque hémorragique élevé.
- Un monitoring de la pression artérielle et du débit cardiaque est utile lorsque le risque hémorragique est élevé.
- La prévention de la transfusion associe un apport de fer ou d'EPO préopératoire, une posture sans compression abdominale, une hémostase chirurgicale soigneuse et l'utilisation d'acide tranexamique.
- Dans la chirurgie des scolioses, le monitoring des potentiels évoqués nécessite une anesthésie intraveineuse et une normothermie.
- La douleur post-opératoire est souvent intense et justifie une stratégie multimodale.
- Les complications sont fréquentes dans la chirurgie majeure du rachis : infection du site opératoire, déficit neurologique, fistule de liquide céphalo-rachidien, hématome post-opératoire, thrombose veineuse profonde, complications cardio-vasculaires et respiratoires.

Introduction

La chirurgie du rachis regroupe des interventions dites mineures (chirurgie de la hernie discale, chirurgie de décompression des sténoses canalaire) et des interventions majeures pour ostéosynthèse vertébrale ou déformation rachidienne. A ces actes réalisés de manière réglée, s'ajoutent les chirurgies d'urgence. L'urgence est liée le plus souvent à un traumatisme, une compression médullaire avec para- ou tétra-parésie ou un déficit neurologique radiculaire rapidement progressif. Les données de la base PMSI de l'année 2011 retrouvaient 61 654 interventions mineures et 21 512 interventions majeures du rachis, la chirurgie de la hernie discale étant l'intervention la plus fréquente. La chirurgie majeure du rachis est en augmentation rapide avec une progression de 40 % entre les années 2009 et 2012 [1]. Pour la majorité de la chirurgie du rachis dite mineure, les complications sont rares. Une étude Finlandaise sur un registre de 61 166 patients retrouvait une mortalité dans les 30 jours post-opératoires de 0,03 % et de 0,67 % à un an [2]. Mais ces complications sont très mal vécues dans le cadre d'une chirurgie fonctionnelle. L'essor récent du concept de réhabilitation améliorée après chirurgie s'est accompagné de l'essor des techniques mini-invasives pour la chirurgie du rachis. Ces évolutions techniques et le grand nombre des procédures décrites dans la littérature nécessitent pour l'anesthésiste de bien comprendre les impératifs chirurgicaux, les risques éventuels des techniques et les conséquences post-opératoires de la chirurgie. Un dialogue constant entre chirurgien et anesthésiste est donc plus que jamais nécessaire.

1. Aspects chirurgicaux

1.1 Chirurgie réglée

1.1.1 Indications chirurgicales

L'indication chirurgicale est assez simple à poser lorsque la pathologie vertébrale est responsable d'un déficit neurologique. Il peut s'agir d'une hernie discale entraînant un déficit radiculaire, d'une compression du canal médullaire lombaire ou cervicale responsable d'une limitation du périmètre de marche (claudication médullaire) ou d'une tétraparésie d'évolution progressive, d'une déformation rachidienne avec des symptômes de compression médullaire lente. Lorsque la plainte principale est la douleur, l'indication chirurgicale est plus discutable. Pour la chirurgie de la hernie discale, il est préférable d'attendre jusqu'à 2 mois, si l'intensité de la douleur le permet, délai qui permet une disparition des symptômes chez un grand nombre de patients. Le recours à des infiltrations de corticoïdes à proximité de la racine

douloureuse permet le plus souvent une analgésie prolongée. L'étude de la cohorte SPORT aux Etats-Unis sur 4 ans avait montré un bénéfice de la chirurgie par rapport au traitement médical en termes de qualité de vie et de rapport coût/bénéfice pour les 3 situations les plus fréquentes : hernie discale, sténose du rachis, spondylolisthésis dégénératif [3]. Cependant, une analyse ultérieure montrait une fréquence de réintervention à 8 ans de 18 % pour les sténoses rachidiennes, de 9 % pour les hernies discales et de 22 % pour les spondylolisthésis [4-6]. Il persiste un débat sur l'intérêt d'une ostéosynthèse pour stabiliser le rachis par rapport à une laminectomie simple visant à soulager les symptômes neurologiques [7,8]. La réflexion est basée sur l'évaluation de l'instabilité du rachis à long terme, ce qui est difficile en pratique.

La chirurgie mini-invasive (MIS) a connu un essor important ces dernières années, surtout pour la chirurgie du rachis lombaire. C'est une composante essentielle de la récupération améliorée après chirurgie du rachis [9,10]. Les principes de la MIS sont de limiter la taille de l'incision et le délabrement musculaire au cours d'abord du rachis que ce soit par voie antérieure ou postérieure via l'utilisation d'écarteurs et d'ancillaires d'ostéosynthèse dédiés. La réalisation d'un contrôle radioscopique est le plus souvent nécessaire.

Les études qui comparent la chirurgie mini-invasive à la chirurgie classique sont en majorité rétrospectives, de mauvaise qualité sur de faibles effectifs. De plus, il existe une courbe d'apprentissage qui explique que les tentatives initiales ne reflètent pas l'expérience des équipes expérimentées. Néanmoins, les méta-analyses permettent de dégager quelques principes. La durée opératoire est en général équivalente entre les 2 techniques avec des pertes sanguines moindres pour la MIS. Le risque de complication médicale et la douleur post-opératoire sont moindres pour la MIS [11,12], expliquant des durées de séjour à l'hôpital plus courtes [11,13]. Le taux de complications chirurgicales et la récupération à long terme sont équivalents entre les 2 techniques. Pour la chirurgie des scolioses étendues, l'intérêt de la MIS est moins évident et demande à être validé [14].

En parallèle des techniques mini-invasives, la chirurgie du rachis lombaire par voie antérieure s'est considérablement développée ces dernières années. L'abord est soit transpéritonéal, soit rétropéritonéal au niveau lombaire. Des mini-thoracotomies sont réalisées au niveau thoracique. L'objectif de ces voies d'abord antérieures est la réalisation d'une discectomie complète permettant l'implantation d'une prothèse discale lombaire ou la réalisation d'une arthrodèse intercorporelle. Dans certains cas (traumatologie, cancérologie et infectiologie) elles permettent également la réalisation d'une corporectomie et mise en place

de prothèses corporéales ou de greffon osseux. Au niveau lombaire bas, les principales indications sont les lombalgies chroniques avec discopathie ainsi que les spondylolisthésis souvent en association avec une arthrodèse postérieure. Un angioscanner des vaisseaux iliaques est classiquement recommandé en préopératoire afin de s'assurer de l'absence de contre-indications anatomiques à l'intervention. Les particularités de cette intervention sont une installation en décubitus dorsal, le chirurgien travaillant dans l'entre-jambe du patient, communément appelé "French position". Au niveau lombaire haut et thoracique, les indications sont plus liées à un cal vicieux ou à une indication infectieuse, traumatique ou oncologique. La position en décubitus latéral est classiquement recommandée.

1.1.2 Evaluation préopératoire

L'évaluation préopératoire des patients opérés à l'étage cervical doit anticiper les difficultés d'intubation. Les patients souffrant de pathologie rhumatismale chronique (polyarthrite rhumatoïde, spondylarthrite ankylosante) peuvent avoir un rachis fixé non mobile, ce qui est un facteur classique d'intubation difficile. D'autre part, les pathologies dégénératives affectant le rachis cervical peuvent être responsables d'une instabilité du rachis ou d'une compression médullaire chronique nécessitant d'éviter la mobilisation du rachis cervical pendant l'intubation.

Pour les patients opérés en décubitus ventral, il faut rechercher les problèmes pouvant interférer avec l'installation. L'obésité morbide (*Indice de Masse Corporel* > 35) peut être responsable de difficultés posturales majeures. Le décubitus ventral est rarement contre-indiqué, sauf dans les obésités morbides majeures [15]. La mobilité du cou et les douleurs liées à la rotation de la tête, des antécédents de syndrome du défilé thoraco-brachial sont à rechercher. Il n'est pas nécessaire de pratiquer des examens complémentaires spécifiques en dehors de ceux justifiés par les antécédents du patient.

Le risque hémorragique existe dans les ostéosynthèses étendues du rachis. Le patient doit être informé des risques liés à la transfusion. La prévalence de l'anémie préopératoire est de l'ordre de 20 à 30 % en chirurgie orthopédique majeure et c'est un facteur de risque indépendant de mortalité post-opératoire [16,17]. Comme pour toute chirurgie orthopédique majeure, un traitement par érythropoïétine, supplémentation martiale et folique permet de limiter les transfusions [18]. Ceci nécessite un délai d'environ 4 semaines avant la chirurgie, ce qui est rarement un problème en chirurgie du rachis non traumatique.

1.2 Chirurgie du rachis en urgence

1.2.1 Indications chirurgicales

La principale indication d'une chirurgie en urgence est la traumatologie du rachis. Les études rétrospectives [19,20] ainsi que 2 études prospectives [21,22] ont clairement montré que la chirurgie précoce était associée à une meilleure récupération neurologique à long terme. Le bénéfice le plus important était observé pour les atteintes du rachis cervical avec un déficit neurologique incomplet (grade B ou plus de *l'American Spinal Cord Injury Association*). Néanmoins, certaines études montrent également un bénéfice de la chirurgie précoce à l'étage dorsal ou lombaire [23]. Une ostéosynthèse précoce facilite également la prise en charge ultérieure, permettant une diminution de la durée d'hospitalisation. L'IRM initiale a un rôle important pour préciser les indications chirurgicales et le pronostic à long terme [24]. Le contexte traumatique est donc toujours une urgence dès qu'il existe un déficit neurologique.

En dehors du traumatisme, les indications d'urgence qui imposent de raccourcir le délai entre la consultation d'anesthésie et la chirurgie sont : la hernie discale hyperalgique résistant au traitement médical, la présence d'un déficit moteur radiculaire évolutif, l'existence de signes de compression médullaire ou de troubles sphinctériens par compression de la " queue de cheval ".

1.2.2 Evaluation préopératoire

Le prérequis est le même que pour la chirurgie réglée, en étant particulièrement attentif aux difficultés d'intubation dans un contexte d'estomac plein. A l'étage dorso-lombaire, les pertes sanguines peuvent être importantes, ce qui doit être anticipé. Quand le traumatisme du rachis survient dans un contexte de polytraumatisme, le bilan lésionnel doit être connu pour établir les priorités en cas de problème peropératoire. La conduite anesthésique ne sera pas la même en cas de traumatisme crânien grave, justifiant une surveillance peropératoire de la pression intracrânienne, ou en cas de traumatisme thoracique grave. Dans tous les cas, les lésions hémorragiques doivent être stabilisées en priorité.

2. Induction anesthésique et installation

2.1 Prise en charge des voies aériennes

Les complications graves liées à la prise en charge des voies aériennes chez les patients souffrant d'un rachis cervical instable sont rares. Une recherche dans la base de données des

plaintes de *l'American Society of Anesthesiologists* trouvait que ces complications représentaient moins de 1% de la totalité des plaintes liées à l'anesthésie générale [25]. La plupart des plaintes survenaient en l'absence de traumatisme du rachis chez des patients ayant des pathologies chroniques du rachis cervical. Cependant, les complications peuvent être dramatiques. Récemment, 2 cas de tétraplégie clairement liés à une intubation en réanimation ont été publiés [26]. Il existe une littérature abondante sur le déplacement du rachis cervical lors de l'intubation. Le déplacement vertébral maximum est observé aux jonctions occiput-C1-C2 et C5-C6. La complexité de l'analyse des différents dispositifs vient du fait qu'il n'y a pas de relation linéaire stricte entre la force appliquée sur le laryngoscope et le déplacement du rachis [27]. Le plus important est d'éviter une traction très forte sur le laryngoscope lors d'une intubation difficile, qui va entraîner un déplacement maximal du rachis. Une position neutre de la tête et une stabilisation en ligne du rachis cervical par un assistant lors de l'intubation sont recommandées. Il est important d'éviter une traction excessive, particulièrement lorsqu'il existe des atteintes ostéo-ligamentaires post-traumatiques [28]. Mais cette stabilisation augmente la difficulté d'intubation en laryngoscopie directe, expliquant jusqu'à 50 % d'échecs [29]. Une revue exhaustive sur le sujet en 2007 concluait qu'il était logique de poursuivre la recommandation de l'immobilisation en ligne du rachis cervical mais que celle-ci ne devait pas se faire au dépend d'un risque d'échec de l'intubation [30]. Le facteur de mobilisation le plus important étant la force appliquée par l'opérateur, le maintien d'une traction douce paraît l'objectif prioritaire. Dans ces circonstances, la majorité des vidéo-laryngoscopes limitent le mouvement vertébral par rapport à une laryngoscopie classique (mais ne l'annule pas) et permettent une intubation plus facile lorsqu'une immobilisation du rachis cervical par traction ou par collier est nécessaire [31-33]. Il peut donc être recommandé d'utiliser ces dispositifs en première intention. L'intubation sous fibroscopie est recommandée par certains car elle ne s'accompagne d'aucun mouvement du rachis. C'est certainement la méthode de choix chez les patients suspects d'intubation difficile avec un rachis cervical dégénératif. Pour la chirurgie en urgence, l'utilisation de cette technique repose sur l'expérience de l'opérateur, le risque d'inhalation sous sédation et la possibilité de réaliser une anesthésie locale de bonne qualité sans provoquer d'efforts de toux violents source de mobilisation incontrôlable du rachis.

La manœuvre de Sellick est potentiellement dangereuse pour les lésions très instables au niveau C5-C6. Pour toutes les autres atteintes, la manœuvre de Sellick peut être pratiquée.

2.2 Retentissement de la posture

2.2.1 Retentissement chirurgical et anesthésique de l'installation

La chirurgie du rachis impose souvent une installation particulière en décubitus ventral, en position gèneupectorale ou, plus rarement, en décubitus latéral. Le choix de l'installation dépend des habitudes chirurgicales, de la technique anesthésique (anesthésie générale ou locorégionale) et du patient [34]. Les impératifs de l'installation sont de diminuer la pression veineuse de l'espace épidural et d'ouvrir les espaces interlamaires par une mise en cyphose du rachis lombaire. L'absence de compression abdominale est impérative pour diminuer la pression dans les plexus veineux épiduraux à l'origine du saignement [35]. Les tables d'opération avec des supports adaptés à la chirurgie du rachis facilitent l'installation et sont devenues incontournables dans les centres ayant une activité importante de chirurgie rachidienne.

Le décubitus ventral a l'avantage d'une installation rapide mais nécessite une surélévation des crêtes iliaques et du thorax pour limiter la compression abdominale. La position gèneupectorale permet de libérer entièrement l'abdomen grâce à des appuis au niveau du thorax et des membres inférieurs. Cet avantage est documenté dans une étude portant sur 436 patients. Les patients opérés en décubitus ventral avaient des pertes sanguines plus importantes (376 mL versus 150 mL) et des durées d'intervention plus longues (74 versus 52 minutes) que les patients opérés en position gèneupectorale [36].

Le décubitus latéral est moins utilisé car les repères chirurgicaux sont moins bons dans cette position et la stabilité du patient plus difficile à obtenir. Elle permet cependant d'éviter la compression thoracique. Cette installation est plus confortable pour les patients opérés d'une hernie discale sous anesthésie locorégionale et pour la femme enceinte à partir du deuxième trimestre.

2.2.2 Conséquences respiratoires et hémodynamiques de l'installation

Lorsque l'abdomen est libre de toute compression, le décubitus ventral ne modifie pas la compliance thoracopulmonaire [37], améliore la distribution des gaz inspirés, augmente la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF) et la pression partielle en oxygène (PaO_2), comparé au décubitus dorsal. La position gèneupectorale est particulièrement recommandable chez l'obèse car elle permet de laisser l'abdomen complètement libre.

Le décubitus ventral s'accompagne de modifications hémodynamiques mineures. La fréquence cardiaque, la pression artérielle et les pressions pulmonaires ne sont pas modifiées. La seule conséquence est une diminution modeste de l'index cardiaque, probablement liée à la compression de la veine cave inférieure et à une diminution du retour veineux. Dans la position gèneupectorale, il existe une spoliation sanguine veineuse liée à l'accumulation de sang dans les membres inférieurs mais la diminution des pressions intrathoraciques améliore le retour veineux et limite le risque d'hypotension. Le risque de collapsus lié à la séquestration veineuse dans les membres inférieurs doit être prévenu par un remplissage vasculaire de l'ordre de $5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1}$ avant la phase de retournement.

2.3 Complications de la posture

La complication du décubitus ventral qui a été la mieux documentée ces dernières années est la cécité. Cette complication dont l'incidence est estimée aux Etats-Unis autour de 0,01%, comporte un potentiel de récupération faible [38,39]. Les troubles visuels peuvent être dûs à une occlusion de l'artère centrale de la rétine (OACR), une neuropathie optique ischémique (NOI) ou une ischémie corticale occipitale, beaucoup moins fréquente. L'OACR est liée à une augmentation de la pression intraoculaire par un appui des globes oculaires sur un support rigide. Elle ne représentait que 10 % des causes de perte de vision dans le registre de *l'American Society of Anesthesiologists* en 2006 [40]. La cause la plus fréquente est la neuropathie optique ischémique dont les causes sont multifactorielles. Les facteurs de risque sont l'âge, une anesthésie de longue durée (> 5 heures), des pertes sanguines importantes (> 1 L), une obésité, l'utilisation d'un cadre de Wilson, un remplissage vasculaire important, le sexe masculin [39,41]. L'augmentation de la pression abdominale (obésité, cadre de Wilson) et la diminution de la pression oncotique (pertes sanguines, remplissage vasculaire) favorisent l'œdème interstitiel ce qui augmente la pression intraoculaire et participe à l'engorgement veineux, à l'origine de l'ischémie optique [42]. *L'American Society of Anesthesiologists* a rédigé des recommandations pour limiter le risque d'atteinte visuelle périopératoire (tableau 1). Le respect de ces recommandations a permis de diviser le risque par 3 entre 1998 et 2012 [39].

Les autres complications sont également rares et leur fréquence proportionnelle à la durée de l'intervention [43]. Les complications liées à une mauvaise position de la tête sont la morsure et l'œdème de la langue, pouvant empêcher l'extubation, un accident vasculaire cérébral lié à une occlusion carotidienne ou vertébrale, une tétraplégie par ischémie médullaire cervicale. Beaucoup de ces complications ont en commun une rotation, une flexion

ou une extension excessive de la tête. Un matériel adapté permettant de garder la tête en position neutre est donc nécessaire [44]. Les autres complications du décubitus ventral sont liées à une flexion de la cuisse ou une compression des vaisseaux fémoraux responsables d'une ischémie aiguë de jambe, de syndromes de loges ou d'une rhabdomyolyse. Pour les interventions de longue durée, l'utilisation d'une table d'opération adaptée permet de limiter le risque. Enfin, les nécroses cutanées ou les neuropathies périphériques liées à des points de compression sont toujours possibles nécessitant une vérification soigneuse de la posture et la protection des zones sensibles.

Le retournement des patients en décubitus ventral est une période à risque nécessitant une bonne coordination de l'équipe et un minimum de trois personnes. La méthode la plus simple consiste à endormir le patient sur un brancard à côté de la table d'opération avec un anesthésiste qui s'occupe de la tête du patient. Les incidents classiques sont la déconnexion ou l'arrachement de la voie veineuse périphérique, de la sonde d'intubation et des éléments de la surveillance (électrodes d'électrocardiogramme, capteur de saturation de l'hémoglobine en oxygène mesurée par oxymètre de pouls [SpO_2]). Exceptionnels mais possibles sont les traumatismes du bras ou du rachis cervical. Après l'installation du patient, une attention méticuleuse doit être portée à vérifier l'absence de problème lié à la posture (vérification des pouls, absence de points de compression, bonne occlusion oculaire, absence de compression des globes oculaires, ventilation non sélective). Le plexus brachial est particulièrement exposé lors d'une hyperabduction du bras, associée à une rotation de la tête du côté opposé. L'utilisation d'appui-bras à hauteur des épaules est à préférer au positionnement des bras de chaque côté de la tête maintenus par des coques. Les zones de compression nerveuse potentielle des nerfs radial, cubital et sciatique poplitée externe doivent être protégées.

3. Technique anesthésique

3.1 Chirurgie de la hernie discale ou laminectomie simple

L'intervention pour cure de hernie discale est de courte durée et concerne le plus souvent des sujets jeunes. Pour la chirurgie lombaire, de nombreuses études ont comparé la rachianesthésie ou l'anesthésie péridurale à l'anesthésie générale, sans différence majeure entre les 2 techniques. L'anesthésie locorégionale était associée à moins de nausées et de vomissements post-opératoires et des pertes sanguines un peu plus faibles, avec une meilleure analgésie au réveil mais sans différence sur la qualité de l'analgésie ultérieure ou la

récupération après chirurgie [45,46]. La chirurgie des hernies discales cervicales sous blocs des plexus cervicaux superficiels et profonds a également été décrite mais est plus rarement pratiquée [47].

Pour les patients bénéficiant d'une anesthésie générale, l'intubation avec une sonde armée est préférable du fait du décubitus ventral pour la chirurgie lombaire ou de la traction chirurgicale sur la trachée pendant l'intervention au niveau cervical. La technique anesthésique est sans particularité mais une anesthésie profonde est nécessaire pendant le temps d'exérèse de la hernie pour éviter la toux ou les mouvements sous microscope. Il n'y a pas d'indication d'antibioprophylaxie.

3.2 Laminectomies étendues et ostéosynthèses du rachis

Il n'y a pas de technique recommandée. Une anesthésie reposant sur un agent halogéné semble la technique la plus souple, permettant de s'adapter aux différentes phases de la chirurgie avec une élimination et un réveil rapide. Un morphinique est très couramment utilisé. Le rémifentanyl ne semble pas être un bon choix en raison d'une douleur toujours présente mais d'intensité variable au réveil, difficile à anticiper. D'autre part, le risque d'hyperalgésie lors de l'utilisation de doses élevées de rémifentanyl pour des chirurgies parfois longues est toujours possible. Une anesthésie sans morphinique est possible mais son bénéfice potentiel reste à évaluer dans cette chirurgie. Une curarisation profonde est nécessaire pour la phase de dissection musculaire pour la chirurgie ouverte. Par la suite, après le décollement musculaire des insertions osseuses, une curarisation légère (1 à 2 réponses au train de quatre) est souvent suffisante. Une antibioprophylaxie par céfazoline ou en cas d'allergie par la vancomycine, limitée à la période peropératoire, est recommandée [48].

3.3 Traitement de l'hémorragie et de l'hypotension

Le risque hémorragique est constant dans la chirurgie majeure du rachis. Les pertes sanguines sont très variables dans la littérature, de moins de 1 L à plus de 5 L [49] (tableau 2). Dans une étude rétrospective d'une cohorte de 4223 patients bénéficiant d'une ostéosynthèse du rachis lombaire, 16,7 % nécessitaient une transfusion sanguine. Dans une autre série de 423 patients avec ostéotomie rachidienne et ostéosynthèse, les pertes sanguines moyennes étaient de $38,7 \pm 35,8$ mL/kg. L'incidence des hémorragies majeures, définies comme une perte sanguine supérieure à 4 L en 24 heures, était de 24% [50]. La chirurgie des tumeurs du

rachis peut être encore plus hémorragique, notamment pour les métastases des cancers du rein et de la thyroïde où l'hémorragie est couramment supérieure à 2L [51,52]. Cette chirurgie pouvant être massivement hémorragique, une embolisation préopératoire peut être indiquée mais son bénéfice est controversé [53,54]. La chirurgie ouverte est beaucoup plus hémorragique dans cette chirurgie que la chirurgie mini-invasive associant en général une ostéosynthèse percutanée et une kyphoplastie [51].

La stratégie pour limiter les transfusions repose sur plusieurs approches. En préopératoire, il faut corriger l'anémie par la supplémentation en Fer ou l'utilisation d'EPO ainsi que les éventuels troubles de la coagulation. En peropératoire, les pertes sanguines peuvent être limitées par une posture libérant l'abdomen, une hémostase chirurgicale soigneuse et la prévention de l'hypothermie. Une diminution d'1°C de la température corporelle augmente les pertes sanguines d'environ 15% et les besoins transfusionnels de 20% [55]. De nombreuses études et 2 méta-analyses ont montré que l'injection d'acide tranexamique permettait de limiter l'hémorragie à la fois per- et post-opératoire et les besoins transfusionnels, sans augmenter le risque de complication [56,57]. La diminution du saignement est d'environ 50 % avec une diminution de 40 % des transfusions. Il semble qu'une injection de 1 g (> 15 mg/kg) avant l'incision chirurgicale soit suffisante [58]. Un seuil transfusionnel restrictif permet de limiter les transfusions. En chirurgie orthopédique chez des patients de 81 ans de moyenne d'âge, un seuil de 80 g/L était équivalent à un seuil de 100 g/L pour la mortalité ou les capacités fonctionnelles post-opératoires [59]. L'utilisation de la récupération peropératoire du sang du patient peut permettre de limiter les transfusions homologues. Cependant, ce moyen n'est pas toujours très efficace sur un suintement hémorragique continu à faible débit.

L'hypotension contrôlée a été utilisée par certains pour réduire le saignement dans la chirurgie du rachis [60]. Son effet est très variable car le saignement est lié à la pression intra-ossuse, qui n'est pas corrélée à la pression artérielle systémique [61]. De plus, la balance risque/bénéfice doit être soigneusement évaluée, notamment chez les sujets âgés. L'étude INPRESS a montré l'importance d'un contrôle précis de la pression artérielle (± 10 % de la valeur de repos) chez les sujets à risque pour une chirurgie lourde [62]. Toute diminution de plus de 30 % de la pression artérielle par rapport à la valeur habituelle devrait donc être traitée. Le choix d'un vasopresseur pour traiter une hypotension artérielle dépend du mécanisme de l'hypotension. Une hypotension a priori transitoire liée à un surdosage

anesthésique peut être traitée par éphédrine ou phényléphrine. Pour une hypotension plus prolongée, résistant à la compensation des pertes sanguines, la phényléphrine, agoniste alpha pur, augmente la pression artérielle par son effet vasoconstricteur au prix d'une diminution notable du débit cardiaque [63]. Son utilisation prolongée fait courir un risque potentiel d'hypoperfusion tissulaire, surtout chez des patients avec une réserve de contractilité myocardique limitée. Une relation entre la baisse de la perfusion musculaire et sa durée, évaluée par la saturation tissulaire en oxygène, et la fréquence des complications postopératoires a été montrée [64]. La noradrénaline en perfusion continue à faible concentration sur un cathéter périphérique (1 mg dilué dans 50 mL par exemple) est très probablement un meilleur choix.

3.4 Monitoring peropératoire des potentiels évoqués (PE)

Dans une série rétrospective portant sur 108 419 chirurgies, un déficit neurologique était documenté dans 1% des cas [65]. Un monitoring par PE était utilisé dans 65% des procédures. La sensibilité et la spécificité des PE pour détecter une atteinte médullaire étaient respectivement de 43 % et 98 %. L'utilisation des PE somesthésiques (PES) comporte un risque de faux négatifs nettement plus élevé que l'utilisation des PE moteurs (PEM). Une revue systématique de l'utilisation des PEM pour la correction des scolioses, montrait une sensibilité de 91% et une spécificité de 96%, avec une aire sous la courbe ROC égale à 0,98, confirmant une très haute valeur prédictive du monitoring [66]. L'importance de la qualité technique du monitoring et de l'expertise neurophysiologique pour le réaliser ne peut pas être sous-estimée. Des recommandations sur ce monitoring ont été publiées qui soulignent l'importance d'une expertise à la fois technique et neurologique pour ces procédures [67]. Ce monitoring a des conséquences sur la technique anesthésique. Les agents inhalés doivent être évités au profit d'une technique associant le propofol et un morphinique. La normothermie doit être maintenue ainsi qu'une pression artérielle dans les limites de la normale, voire élevée, pour maintenir la pression de perfusion médullaire. En France, le monitoring est utilisé couramment pour la chirurgie des scolioses de l'enfant le plus souvent localisées au niveau dorsal, mais beaucoup moins pour les scolioses du rachis de l'adulte plus volontiers dorsolombaire. Outre la localisation de la scoliose, les contraintes organisationnelles et humaines (disponibilité des neurophysiologistes, coût du monitoring, durée des procédures) expliquent certainement ces limites. En 2011, une enquête Française des pratiques en

chirurgie du rachis montrait que 36 % seulement des chirurgiens du rachis disposaient d'un monitoring peropératoire [68]. De plus, le monitoring nécessite une collaboration et un dialogue entre anesthésiste, neurophysiologiste et chirurgien [69]. L'augmentation de la complexité des procédures chirurgicales devrait augmenter les demandes de recours à un monitoring, comme cela a été constaté aux Etats-Unis avec une multiplication par 15 du monitoring neurophysiologique au bloc opératoire entre 1997 et 2010 [70]. Une analyse d'un registre Nord-Américain de 1,1 million de procédures sur le rachis retrouvait une prévalence de 4,9 % du monitoring neurophysiologique. L'analyse de la base de données montrait que l'utilisation du monitoring était associée à une diminution de 40 % du risque d'atteinte neurologique [71]. Le monitoring actuel associant PES, PEM et PE neurogéniques mixtes par stimulation épidurale peropératoire permettent de déterminer précisément le niveau lésionnel et d'apporter des mesures correctives [72]. L'intérêt du monitoring dans les situations à risque, avec une équipe entraînée, paraît donc clair mais les difficultés logistiques et médicales pour sa mise en place sont importantes.

4. Réveil et analgésie

La chirurgie des hernies discales cervicales est peu douloureuse et ne nécessite que l'injection d'antalgiques non morphiniques en postopératoire (paracétamol ou anti-inflammatoire). La chirurgie des hernies discales lombaires est plus algique et plusieurs techniques d'analgésie ont été proposées. La technique chirurgicale a un rôle important dans l'intensité de la douleur postopératoire. Les techniques microchirurgicales utilisant le microscope opératoire entraînent moins de douleur que les autres techniques nécessitant une laminectomie plus large. Les anti-inflammatoires non stéroïdiens par voie générale sont efficaces. L'infiltration des muscles et des tissus sous-cutanés par de la bupivacaïne diminue l'intensité de la douleur et la demande d'analgésiques pendant les premières heures postopératoires, sans effet secondaire notable [73].

La douleur post-opératoire est plus importante après une chirurgie majeure du rachis et nécessite une stratégie d'analgésie multimodale. Les stimuli nociceptifs proviennent de l'incision cutanée, des muscles dorso-lombaires, des lésions osseuses et articulaires, des lésions ligamentaires, ou articulaires et des disques intervertébraux. En outre, une douleur neuropathique, due à la compression ou à l'atteinte des racines nerveuses précède la chirurgie chez de nombreux patients. Cette douleur périnerveuse, souvent associée à une inflammation

chronique, est responsable de phénomènes de sensibilisation douloureuse qui peuvent aller jusqu'à l'hyperalgésie ou l'allodynie. En l'absence de complication, la douleur post-opératoire dure environ 4 jours puis s'estompe rapidement, permettant la sortie des patients. Mais d'autres trajectoires douloureuses sont possibles avec une augmentation de la douleur dans les premiers jours qui doit être dépistée. Une titration initiale par de la morphine suivie par de la morphine en analgésie auto-contrôlée a longtemps été une méthode de référence. Mais certains patients souffrant de douleur rachidienne chronique reçoivent des dérivés morphiniques de manière prolongée avant l'intervention provoquant l'acquisition d'une tolérance à la morphine [74,75]. Ces patients doivent être dépistés à la consultation d'anesthésie et un protocole d'analgésie spécifique et individuel doit être proposé. Une rachianesthésie à la morphine est une autre option, qui permet une analgésie pendant 24 voire 48 heures [76]. Le risque de dépression respiratoire, justifiant une surveillance rapprochée est une limite à son utilisation. Les anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) sont très efficaces dans la chirurgie du rachis. Ils permettent de diminuer la douleur et la consommation de morphine post-opératoire. Le risque d'hémorragie digestive et d'insuffisance rénale limite leur utilisation chez les sujets âgés. La perfusion de kétamine a une certaine popularité, basée sur des études avec de faibles effectifs semblant montrer une diminution de la douleur post-opératoire et à long terme. Néanmoins, ces résultats sont inconstants dans la littérature [77] et une importante étude prospective randomisée récente ne trouvait pas d'effet positif sur la douleur post-opératoire avec un surcroît d'hallucinations et de cauchemars [78]. Les gabapentinoides (prégabaline, gabapentine) ont fait l'objet de nombreuses études et de méta-analyses [79,80]. Ces agents permettent de diminuer les doses de morphine et d'améliorer les scores de douleur mais ils sont efficaces surtout à forte dose, entraînant des troubles de la vigilance. Leur indication n'est pas claire et il faut probablement réserver ces agents aux patients souffrant de douleurs neuropathiques qui précèdent la chirurgie ou à ceux sous traitement chronique par de fortes doses de morphiniques. La lidocaïne a des propriétés anti-inflammatoire, analgésique et anti-hyperalgésique qui justifient son utilisation en perfusion intraveineuse per- et postopératoire avec quelques études positives [81]. Néanmoins, une littérature plus récente n'est pas en faveur de son utilisation [82,83]. L'utilisation des anesthésiques locaux peut donc se limiter à l'infiltration des muscles par un anesthésique de longue durée d'action (naropéine ou bupivacaine), permettant une analgésie post-opératoire de quelques heures. Il n'y a donc pas de technique d'analgésie unique mais c'est l'association de la morphine, des AINS, de paracétamol, d'une infiltration des muscles par un anesthésique local, et d'une chirurgie mini-invasive qui permet d'obtenir une analgésie efficace. Parfois,

l'utilisation de prégabaline ou de gabapentine est un complément efficace pour agir sur les douleurs neuropathiques.

4.1 Récupération améliorée après chirurgie du rachis (RAAC)

Comme pour toute chirurgie lourde, il est possible d'organiser un programme de RAAC après chirurgie du rachis. Comme pour les autres chirurgies, un programme de RAAC pour la chirurgie du rachis associe une information détaillée du parcours au patient, une chirurgie mini-invasive en limitant les pertes sanguines, une analgésie multimodale et individualisée, un lever précoce et une rééducation rapide [9]. Toutes les chirurgies du rachis ne sont pas accessibles à ce type de parcours qui doit faire l'objet d'une coopération entre les équipes chirurgicales, anesthésiques et les kinésithérapeutes. Peu d'équipes ont publié leurs résultats dans ce domaine mais les résultats préliminaires sont très positifs avec une réduction importante de la durée d'hospitalisation.

5. Complications postopératoires

La fréquence des complications périopératoires varie de moins de 10 % pour la chirurgie de la hernie discale à 78 % pour la chirurgie des déformations majeures du rachis [84,85]. L'âge, la dénutrition (albuminémie < 35 g/L), une chirurgie longue (> 120 min) sont des facteurs de risque de complication [86-88]. Pour les procédures les plus lourdes, il existe une relation entre le volume de patients traités et le risque de complication [89]. La complication la plus redoutée est l'infection avec une incidence moyenne autour de 2 %. Il peut s'agir d'une simple infection superficielle de cicatrice mais également d'une infection du disque intervertébral. La mise en place d'une ostéosynthèse augmente le risque infectieux. Après chirurgies rachidiennes avec ostéosyntheses étendues, le risque infectieux est évalué entre 7-13%. Elle se manifeste essentiellement par des douleurs post-opératoires anormales, le plus souvent à distance de l'intervention, après la sortie du patient de l'hôpital, associées à un syndrome inflammatoire avec ou sans fièvre. Le diagnostic sur le prélèvement d'écoulement de cicatrice ou au mieux de prélèvements réalisés au cours du parage chirurgical.

Le risque de thrombose veineuse profonde (TVP) est très variable selon la chirurgie et les facteurs de risque liés aux patients. Pour les actes simples (hernie discale, ostéosynthèse limitée, chirurgie du rachis cervical), le risque de TVP symptomatique est inférieur à 1% dans la plupart des études [90-93]. Une déambulation précoce est certainement la meilleure

prophylaxie de la TVP dans cette chirurgie. En revanche, dans la chirurgie majeure, le risque est élevé [94-96]. Les patients opérés pour une métastase du rachis sont ceux ayant le risque le plus élevé avec une incidence de 9,5 % de TVP en préopératoire, justifiant probablement un dépistage préopératoire large par Echo-Doppler [97]. Chez les patients à risque de TVP, la compression pneumatique intermittente des membres inférieurs est recommandée et diminue le risque de moitié [96,98]. Cette prophylaxie mécanique n'est pas suffisante chez les patients à très haut risque justifiant d'associer une héparine [95,98]. Le risque d'hématome épidural ne semble pas plus élevé lorsque l'héparine est débutée 24 heures après l'intervention [94].

L'hématome épidural rachidien, bien que rare, doit être systématiquement recherché en cas de douleurs post-opératoires majeures ou de survenue d'un déficit neurologique post-opératoire. Il peut survenir le jour-même de l'intervention mais également les jours suivants. La prise d'un traitement antiagrégant plaquettaire ou anticoagulant augmente le risque d'hématome épidural particulièrement si le traitement n'a pas été arrêté avant l'intervention. Une prise en charge diagnostique (IRM rachidienne) et thérapeutique (reprise chirurgicale) rapide est indispensable afin de limiter le risque de séquelle neurologique. D'éventuels troubles de la coagulation doivent être recherchés et corrigés.

Conclusion

Les techniques en chirurgie du rachis évoluent rapidement avec le développement des chirurgies mini-invasives et des chirurgies sous scanner peropératoire. Les risques sont très variés nécessitant un dialogue avec le chirurgien pour comprendre la procédure et ses spécificités. Les atteintes du rachis cervical, d'origine traumatique ou dégénérative, comportent toutes un risque d'aggravation lors de la prise en charge des voies aériennes. Les vidéo-laryngoscopes diminuent, mais n'annulent pas, la mobilisation du rachis. Pendant l'intervention, la chirurgie majeure comporte un risque élevé d'hémorragie et d'hypotension qui justifient un monitoring continu. En post-opératoire, la douleur est toujours présente, difficile à traiter, demandant une attention particulière pendant le séjour en SSPI et au-delà.

Tableau 1 : Adapté d'après les recommandations de l'American Society of Anesthesiologists pour limiter le risque de perte de vision postopératoire, d'après [99]

<p>Evaluation préopératoire du risque</p> <p>Durée d'anesthésie > 5 heures</p> <p>Pertes sanguines > 1 L</p> <p>Informé le patient du risque si celui-ci est considéré comme élevé</p>
<p>Prise en charge peropératoire</p> <p>Monitoring invasif de la pression artérielle pour les procédures à risque ou de longue durée</p> <p>Monitoring de la PVC ou autre méthode pour conduire le remplissage vasculaire</p> <p>Eviter un remplissage excessif par des cristalloïdes</p> <p>Surveiller l'hémoglobine peropératoire (pas de seuil d'hémoglobine défini)</p> <p>Réfléchir à la balance risque bénéfice des agents alpha-adrénergiques purs (risque de diminution du débit cardiaque)</p> <p>Posture : Vérifier périodiquement l'absence de compression des globes oculaires ; Eviter les positions tête basse ; tête dans une position neutre (pas de rotation, de flexion ou d'extension significative)</p>
<p>Procédure chirurgicale</p> <p>Réfléchir à une chirurgie en 2 temps pour les procédures longues et difficiles à risque hémorragique</p>
<p>Prise en charge postopératoire</p> <p>Evaluer la vision dès le réveil chez les patients à risque</p> <p>En cas de doute, faire appel à un ophtalmologiste en urgence pour rechercher la cause</p> <p>En cas de suspicion d'atteinte corticale, réaliser une IRM en urgence</p>

Tableau 2 : Facteurs de risque de transfusion en chirurgie du rachis, d'après [50,51,100-102]

<p>Facteurs de risque liés au patient</p> <p>Age > 60 ans</p> <p>Classification ASA ≥ 3</p> <p>Sexe Féminin</p> <p>Hématocrite préopératoire < 36%</p> <p>Traitement par anticoagulant/antiagrégant</p>
<p>Facteurs de risque liés à la chirurgie</p> <p>Durée opératoire > 5 heures</p> <p>Nombre de vertèbres ostéosynthésées</p> <p>Etendue de l'ostéotomie</p> <p>Chirurgie ouverte <i>versus</i> chirurgie mini-invasive</p> <p>Chirurgie de tumeurs hyper vascularisées (rein, thyroïde)</p> <p>Reprise chirurgicale</p> <p>Qualité de l'hémostase chirurgicale</p>
<p>Facteurs de risque liés à l'anesthésie</p> <p>Posture avec compression abdominale</p> <p>Pression artérielle élevée</p> <p>Correction insuffisante des troubles de la coagulation liés au saignement</p> <p>Utilisation d'antifibrinolytique (acide tranexamique)</p> <p>Hypothermie</p>

Références :

- [1] HAS. Pertinence de la chirurgie de la lombalgie chronique de l'adulte; 2014.
- [2] Salmenkivi J, Sund R, Paavola M, Ruuth I, Malmivaara A. Mortality Caused by Surgery for Degenerative Lumbar Spine. *Spine*. 2017; **42**(14): 1080-7.
- [3] Tosteson AN, Tosteson TD, Lurie JD, Abdu W, Herkowitz H, Andersson G, et al. Comparative effectiveness evidence from the spine patient outcomes research trial: surgical versus nonoperative care for spinal stenosis, degenerative spondylolisthesis, and intervertebral disc herniation. *Spine*. 2011; **36**(24): 2061-8.
- [4] Abdu RW, Abdu WA, Pearson AM, Zhao W, Lurie JD, Weinstein JN. Reoperation for Recurrent Intervertebral Disc Herniation in the Spine Patient Outcomes Research Trial: Analysis of Rate, Risk Factors, and Outcome. *Spine*. 2017; **42**(14): 1106-14.
- [5] Gerling MC, Leven D, Passias PG, Lafage V, Bianco K, Lee A, et al. Risk Factors for Reoperation in Patients Treated Surgically for Lumbar Stenosis: A Subanalysis of the 8-year Data From the SPORT Trial. *Spine*. 2016; **41**(10): 901-9.
- [6] Gerling MC, Leven D, Passias PG, Lafage V, Bianco K, Lee A, et al. Risks Factors For Reoperation in Patients Treated Surgically for Degenerative Spondylolisthesis: A Subanalysis of the 8 Year Data From the SPORT Trial. *Spine*. 2017.
- [7] Forsth P, Olafsson G, Carlsson T, Frost A, Borgstrom F, Fritzell P, et al. A Randomized, Controlled Trial of Fusion Surgery for Lumbar Spinal Stenosis. *The New England journal of medicine*. 2016; **374**(15): 1413-23.
- [8] Ghogawala Z, Dziura J, Butler WE, Dai F, Terrin N, Magge SN, et al. Laminectomy plus Fusion versus Laminectomy Alone for Lumbar Spondylolisthesis. *The New England journal of medicine*. 2016; **374**(15): 1424-34.
- [9] Wainwright TW, Immins T, Middleton RG. Enhanced recovery after surgery (ERAS) and its applicability for major spine surgery. *Best practice & research Clinical anaesthesiology*. 2016; **30**(1): 91-102.
- [10] Wang MY, Chang PY, Grossman J. Development of an Enhanced Recovery After Surgery (ERAS) approach for lumbar spinal fusion. *Journal of neurosurgery Spine*. 2017; **26**(4): 411-8.
- [11] Goldstein CL, Macwan K, Sundararajan K, Rampersaud YR. Perioperative outcomes and adverse events of minimally invasive versus open posterior lumbar

- fusion: meta-analysis and systematic review. *Journal of neurosurgery Spine*. 2016; **24**(3): 416-27.
- [12] Phan K, Mobbs RJ. Minimally Invasive Versus Open Laminectomy for Lumbar Stenosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Spine*. 2016; **41**(2): E91-e100.
- [13] McGirt MJ, Parker SL, Mummaneni P, Knightly J, Pfortmiller D, Foley K, et al. Is the use of minimally invasive fusion technologies associated with improved outcomes after elective interbody lumbar fusion? Analysis of a nationwide prospective patient-reported outcomes registry. *The Spine Journal*. 2017; **17**(7): 922-32.
- [14] Kanter AS, Tempel ZJ, Ozpinar A, Okonkwo DO. A Review of Minimally Invasive Procedures for the Treatment of Adult Spinal Deformity. *Spine*. 2016; **41 Suppl 8**: S59-65.
- [15] Goubaux B, Perus O, Raucoules-Aimé M. Prise en charge périopératoire du patient obèse. In: Elsevier, editor. *Encyclopédie Médico-Chirurgicale*. Paris: Masson; 2011. p. 1-10.
- [16] Fowler AJ, Ahmad T, Phull MK, Allard S, Gillies MA, Pearse RM. Meta-analysis of the association between preoperative anaemia and mortality after surgery. *The British journal of surgery*. 2015; **102**(11): 1314-24.
- [17] Munoz M, Gomez-Ramirez S, Campos A, Ruiz J, Liunbruno GM. Pre-operative anaemia: prevalence, consequences and approaches to management. *Blood transfusion = Trasfusione del sangue*. 2015; **13**(3): 370-9.
- [18] Colomina MJ, Bago J, Pellise F, Godet C, Villanueva C. Preoperative erythropoietin in spine surgery. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2004; **13 Suppl 1**: S40-9.
- [19] Grassner L, Wutte C, Klein B, Mach O, Riesner S, Panzer S, et al. Early Decompression (< 8 h) after Traumatic Cervical Spinal Cord Injury Improves Functional Outcome as Assessed by Spinal Cord Independence Measure after One Year. *Journal of neurotrauma*. 2016; **33**(18): 1658-66.
- [20] La Rosa G, Conti A, Cardali S, Cacciola F, Tomasello F. Does early decompression improve neurological outcome of spinal cord injured patients? Appraisal of the literature using a meta-analytical approach. *Spinal cord*. 2004; **42**(9): 503-12.

- [21] Fehlings MG, Vaccaro A, Wilson JR, Singh A, D WC, Harrop JS, et al. Early versus delayed decompression for traumatic cervical spinal cord injury: results of the Surgical Timing in Acute Spinal Cord Injury Study (STASCIS). *PloS one*. 2012; **7**(2): e32037.
- [22] Wilson JR, Singh A, Craven C, Verrier MC, Drew B, Ahn H, et al. Early versus late surgery for traumatic spinal cord injury: the results of a prospective Canadian cohort study. *Spinal cord*. 2012; **50**(11): 840-3.
- [23] Dvorak MF, Noonan VK, Fallah N, Fisher CG, Finkelstein J, Kwon BK, et al. The influence of time from injury to surgery on motor recovery and length of hospital stay in acute traumatic spinal cord injury: an observational Canadian cohort study. *Journal of neurotrauma*. 2015; **32**(9): 645-54.
- [24] Aarabi B, Sansur CA, Ibrahimi DM, Simard JM, Hersh DS, Le E, et al. Intramedullary Lesion Length on Postoperative Magnetic Resonance Imaging is a Strong Predictor of ASIA Impairment Scale Grade Conversion Following Decompressive Surgery in Cervical Spinal Cord Injury. *Neurosurgery*. 2017; **80**(4): 610-20.
- [25] Hindman BJ, Palecek JP, Posner KL, Traynelis VC, Lee LA, Sawin PD, et al. Cervical spinal cord, root, and bony spine injuries: a closed claims analysis. *Anesthesiology*. 2011; **114**(4): 782-95.
- [26] Oppenlander ME, Hsu FD, Bolton P, Theodore N. Catastrophic neurological complications of emergent endotracheal intubation: report of 2 cases. *Journal of neurosurgery Spine*. 2015; **22**(5): 454-8.
- [27] Hindman BJ, Santoni BG, Puttlitz CM, From RP, Todd MM. Intubation biomechanics: laryngoscope force and cervical spine motion during intubation with Macintosh and Airtraq laryngoscopes. *Anesthesiology*. 2014; **121**(2): 260-71.
- [28] Crosby ET. Airway management in adults after cervical spine trauma. *Anesthesiology*. 2006; **104**(6): 1293-318.
- [29] Thiboutot F, Nicole PC, Trepanier CA, Turgeon AF, Lessard MR. Effect of manual in-line stabilization of the cervical spine in adults on the rate of difficult orotracheal intubation by direct laryngoscopy: a randomized controlled trial. *Canadian journal of anaesthesia = Journal canadien d'anesthésie*. 2009; **56**(6): 412-8.

- [30] Manoach S, Paladino L. Manual in-line stabilization for acute airway management of suspected cervical spine injury: historical review and current questions. *Annals of emergency medicine*. 2007; **50**(3): 236-45.
- [31] Malik MA, Maharaj CH, Harte BH, Laffey JG. Comparison of Macintosh, Truview EVO2, Glidescope, and Airwayscope laryngoscope use in patients with cervical spine immobilization. *British journal of anaesthesia*. 2008; **101**(5): 723-30.
- [32] Maruyama K, Yamada T, Kawakami R, Kamata T, Yokochi M, Hara K. Upper cervical spine movement during intubation: fluoroscopic comparison of the AirWay Scope, McCoy laryngoscope, and Macintosh laryngoscope. *British journal of anaesthesia*. 2008; **100**(1): 120-4.
- [33] Malik MA, Subramaniam R, Churasia S, Maharaj CH, Harte BH, Laffey JG. Tracheal intubation in patients with cervical spine immobilization: a comparison of the Airwayscope, LMA CTrach, and the Macintosh laryngoscopes. *British journal of anaesthesia*. 2009; **102**(5): 654-61.
- [34] Deleuze M, Molliex S, Ripart J. Complications des positions opératoires. In: Elsevier, editor. *Encycl Med Chir: Masson*; 2009. p. 1-15.
- [35] Schonauer C, Bocchetti A, Barbagallo G, Albanese V, Moraci A. Positioning on surgical table. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2004; **13 Suppl 1**: S50-5.
- [36] Böstman O, Hyrkas J, Hirvensalo E, Kallio E. Blood loss, operating time, and positioning of the patient in lumbar disc surgery. *Spine*. 1990; **15**: 360-3.
- [37] Palmon SC, Kirsch JR, Depper JA, Toung TJ. The effect of the prone position on pulmonary mechanics is frame- dependent. *Anesthesia and analgesia*. 1998; **87**(5): 1175-80.
- [38] Holy SE, Tsai JH, McAllister RK, Smith KH. Perioperative ischemic optic neuropathy: a case control analysis of 126,666 surgical procedures at a single institution. *Anesthesiology*. 2009; **110**(2): 246-53.
- [39] Rubin DS, Parakati I, Lee LA, Moss HE, Joslin CE, Roth S. Perioperative Visual Loss in Spine Fusion Surgery: Ischemic Optic Neuropathy in the United States from 1998 to 2012 in the Nationwide Inpatient Sample. *Anesthesiology*. 2016; **125**(3): 457-64.
- [40] Lee LA, Roth S, Posner KL, Cheney FW, Caplan RA, Newman NJ, et al. The American Society of Anesthesiologists Postoperative Visual Loss Registry: analysis of

- 93 spine surgery cases with postoperative visual loss. *Anesthesiology*. 2006; **105**(4): 652-9; quiz 867-8.
- [41] Risk factors associated with ischemic optic neuropathy after spinal fusion surgery. *Anesthesiology*. 2012; **116**(1): 15-24.
- [42] Kila KM, Lee LA. Perioperative visual loss. Best practice & research Clinical anaesthesiology. 2016; **30**(1): 69-77.
- [43] Shriver MF, Zeer V, Alentado VJ, Mroz TE, Benzel EC, Steinmetz MP. Lumbar spine surgery positioning complications: a systematic review. *Neurosurgical focus*. 2015; **39**(4): E16.
- [44] Andersen JD, Baake G, Wiis JT, Olsen KS. Effect of head rotation during surgery in the prone position on regional cerebral oxygen saturation: A prospective controlled study. *European journal of anaesthesiology*. 2014; **31**(2): 98-103.
- [45] De Rojas JO, Syre P, Welch WC. Regional anesthesia versus general anesthesia for surgery on the lumbar spine: a review of the modern literature. *Clinical neurology and neurosurgery*. 2014; **119**: 39-43.
- [46] Zorrilla-Vaca A, Healy RJ, Mirski MA. A Comparison of Regional Versus General Anesthesia for Lumbar Spine Surgery: A Meta-Analysis of Randomized Studies. *Journal of neurosurgical anesthesiology*. 2016.
- [47] Wang H, Ma L, Yang D, Wang T, Wang Q, Zhang L, et al. Cervical plexus anesthesia versus general anesthesia for anterior cervical discectomy and fusion surgery: A randomized clinical trial. *Medicine*. 2017; **96**(7): e6119.
- [48] Martin C. Antibioprophylaxie en chirurgie et médecine interventionnelle. Paris: Sfar; 2017.
- [49] Hu SS. Blood loss in adult spinal surgery. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2004; **13 Suppl 1**: S3-5.
- [50] Bianco K, Norton R, Schwab F, Smith JS, Klineberg E, Obeid I, et al. Complications and intercenter variability of three-column osteotomies for spinal deformity surgery: a retrospective review of 423 patients. *Neurosurgical focus*. 2014; **36**(5): E18.
- [51] Hansen-Algenstaedt N, Kwan MK, Algenstaedt P, Chiu CK, Viezens L, Chan TS, et al. Comparison Between Minimally Invasive Surgery and Conventional Open

Surgery for Patients With Spinal Metastasis: A Prospective Propensity Score-Matched Study. *Spine*. 2017; **42**(10): 789-97.

- [52] Kumar N, Zaw AS, Khine HE, Maharajan K, Wai KL, Tan B, et al. Blood Loss and Transfusion Requirements in Metastatic Spinal Tumor Surgery: Evaluation of Influencing Factors. *Annals of surgical oncology*. 2016; **23**(6): 2079-86.
- [53] Ladner TR, He L, Lakomkin N, Davis BJ, Cheng JS, Devin CJ, et al. Minimizing bleeding complications in spinal tumor surgery with preoperative Onyx embolization via dual-lumen balloon catheter. *Journal of neurointerventional surgery*. 2016; **8**(2): 210-5.
- [54] Qiao Z, Jia N, He Q. Does preoperative transarterial embolization decrease blood loss during spine tumor surgery? *Interventional neuroradiology : journal of peritherapeutic neuroradiology, surgical procedures and related neurosciences*. 2015; **21**(1): 129-35.
- [55] Rajagopalan S, Mascha E, Na J, Sessler DI. The effects of mild perioperative hypothermia on blood loss and transfusion requirement. *Anesthesiology*. 2008; **108**(1): 71-7.
- [56] Li G, Sun TW, Luo G, Zhang C. Efficacy of antifibrinolytic agents on surgical bleeding and transfusion requirements in spine surgery: a meta-analysis. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2017; **26**(1): 140-54.
- [57] Yuan QM, Zhao ZH, Xu BS. Efficacy and safety of tranexamic acid in reducing blood loss in scoliosis surgery: a systematic review and meta-analysis. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2017; **26**(1): 131-9.
- [58] Theusinger OM, Spahn DR. Perioperative blood conservation strategies for major spine surgery. *Best practice & research Clinical anaesthesiology*. 2016; **30**(1): 41-52.
- [59] Carson JL, Terrin ML, Noveck H, Sanders DW, Chaitman BR, Rhoads GG, et al. Liberal or restrictive transfusion in high-risk patients after hip surgery. *The New England journal of medicine*. 2011; **365**(26): 2453-62.

- [60] Verma K, Lonner B, Dean L, Vecchione D, Lafage V. Reduction of Mean Arterial Pressure at Incision Reduces Operative Blood Loss in Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Spine deformity*. 2013; **1**(2): 115-22.
- [61] Kakiuchi M. Intraoperative blood loss during cervical laminoplasty correlates with the vertebral intraosseous pressure. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 2002; **84**(4): 518-20.
- [62] Futier E, Lefrant JY, Guinot PG, Godet T, Lorne E, Cuvillon P, et al. Effect of Individualized vs Standard Blood Pressure Management Strategies on Postoperative Organ Dysfunction Among High-Risk Patients Undergoing Major Surgery: A Randomized Clinical Trial. *Jama*. 2017; **318**(14): 1346-57.
- [63] Meng L, Cannesson M, Alexander BS, Yu Z, Kain ZN, Cerussi AE, et al. Effect of phenylephrine and ephedrine bolus treatment on cerebral oxygenation in anaesthetized patients. *British journal of anaesthesia*. 2011; **107**(2): 209-17.
- [64] Meng L, Xiao J, Gudelunas K, Yu Z, Zhong Z, Hu X. Association of intraoperative cerebral and muscular tissue oxygen saturation with postoperative complications and length of hospital stay after major spine surgery: an observational study. *British journal of anaesthesia*. 2017; **118**(4): 551-62.
- [65] Hamilton DK, Smith JS, Sansur CA, Glassman SD, Ames CP, Berven SH, et al. Rates of new neurological deficit associated with spine surgery based on 108,419 procedures: a report of the scoliosis research society morbidity and mortality committee. *Spine*. 2011; **36**(15): 1218-28.
- [66] Thirumala PD, Crammond DJ, Loke YK, Cheng HL, Huang J, Balzer JR. Diagnostic accuracy of motor evoked potentials to detect neurological deficit during idiopathic scoliosis correction: a systematic review. *Journal of neurosurgery Spine*. 2017; **26**(3): 374-83.
- [67] Macdonald DB, Skinner S, Shils J, Yingling C, American Society of Neurophysiological M. Intraoperative motor evoked potential monitoring - a position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. *Clin Neurophysiol*. 2013; **124**(12): 2291-316.
- [68] Gavaret M, Jouve JL, Pereon Y, Accadbled F, Andre-Obadia N, Azabou E, et al. Intraoperative neurophysiologic monitoring in spine surgery. *Developments and state of the art in France in 2011. Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR*. 2013; **99**(6 Suppl): S319-27.

- [69] Lieberman JA, Berven S, Gardi J, Hu S, Lyon R, MacDonald DB, et al. Modi HN, Suh SW, Yang JH, et al. False-negative transcranial motor-evoked potentials during scoliosis surgery causing paralysis. *Spine* 2009;34:e896-900. *Spine*. 2010; **35**(6): 717-8; discussion 4-7, 8-20.
- [70] Nuwer MR, Emerson RG, Galloway G, Legatt AD, Lopez J, Minahan R, et al. Evidence-based guideline update: intraoperative spinal monitoring with somatosensory and transcranial electrical motor evoked potentials: report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology and the American Clinical Neurophysiology Society. *Neurology*. 2012; **78**(8): 585-9.
- [71] Ney JP, van der Goes DN, Nuwer MR. Does intraoperative neurophysiologic monitoring matter in noncomplex spine surgeries? *Neurology*. 2015; **85**(24): 2151-8.
- [72] Gavaret M, Pesenti S, Diop-Sene MS, Choufani E, Bollini G, Jouve JL. Intraoperative spinal cord monitoring: Lesional level diagnosis. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR*. 2017; **103**(1): 33-8.
- [73] Perera A, Chari A, Kostusiak M, Khan AA, Luoma AM, Casey AT. Intramuscular Local Anesthetic Infiltration at Closure for Post-Operative Analgesia in Lumbar Spine Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Spine*. 2016.
- [74] Franklin GM, Rahman EA, Turner JA, Daniell WE, Fulton-Kehoe D. Opioid use for chronic low back pain: A prospective, population-based study among injured workers in Washington state, 2002-2005. *The Clinical journal of pain*. 2009; **25**(9): 743-51.
- [75] Webster BS, Verma SK, Gatchel RJ. Relationship between early opioid prescribing for acute occupational low back pain and disability duration, medical costs, subsequent surgery and late opioid use. *Spine*. 2007; **32**(19): 2127-32.
- [76] Gall O, Aubineau JV, Berniere J, Desjeux L, Murat I. Analgesic effect of low-dose intrathecal morphine after spinal fusion in children. *Anesthesiology*. 2001; **94**(3): 447-52.
- [77] Dunn LK, Durieux ME, Nemergut EC. Non-opioid analgesics: Novel approaches to perioperative analgesia for major spine surgery. *Best practice & research Clinical anaesthesiology*. 2016; **30**(1): 79-89.
- [78] Avidan MS, Maybrier HR, Abdallah AB, Jacobsohn E, Vlisides PE, Pryor KO, et al. Intraoperative ketamine for prevention of postoperative delirium or pain after

- major surgery in older adults: an international, multicentre, double-blind, randomised clinical trial. *Lancet* (London, England). 2017; **390**(10091): 267-75.
- [79] Peng C, Li C, Qu J, Wu D. Gabapentin can decrease acute pain and morphine consumption in spinal surgery patients: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Medicine*. 2017; **96**(15): e6463.
- [80] Jiang HL, Huang S, Song J, Wang X, Cao ZS. Preoperative use of pregabalin for acute pain in spine surgery: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Medicine*. 2017; **96**(11): e6129.
- [81] Farag E, Ghobrial M, Sessler DI, Dalton JE, Liu J, Lee JH, et al. Effect of perioperative intravenous lidocaine administration on pain, opioid consumption, and quality of life after complex spine surgery. *Anesthesiology*. 2013; **119**(4): 932-40.
- [82] Dewinter G, Moens P, Fieuws S, Vanaudenaerde B, Van de Velde M, Rex S. Systemic lidocaine fails to improve postoperative morphine consumption, postoperative recovery and quality of life in patients undergoing posterior spinal arthrodesis. A double-blind, randomized, placebo-controlled trial. *British journal of anaesthesia*. 2017; **118**(4): 576-85.
- [83] Weibel S, Jokinen J, Pace NL, Schnabel A, Hollmann MW, Hahnenkamp K, et al. Efficacy and safety of intravenous lidocaine for postoperative analgesia and recovery after surgery: a systematic review with trial sequential analysis. *British journal of anaesthesia*. 2016; **116**(6): 770-83.
- [84] Shriver MF, Xie JJ, Tye EY, Rosenbaum BP, Kshettry VR, Benzel EC, et al. Lumbar microdiscectomy complication rates: a systematic review and meta-analysis. *Neurosurgical focus*. 2015; **39**(4): E6.
- [85] Smith JS, Shaffrey CI, Klineberg E, Lafage V, Schwab F, Lafage R, et al. Complication rates associated with 3-column osteotomy in 82 adult spinal deformity patients: retrospective review of a prospectively collected multicenter consecutive series with 2-year follow-up. *Journal of neurosurgery Spine*. 2017; **27**(4): 444-57.
- [86] Lee NJ, Kothari P, Kim JS, Phan K, Di Capua J, Shin J, et al. Nutritional Status as an Adjunct Risk Factor for Early Postoperative Complications Following Posterior Cervical Fusion. *Spine*. 2017; **42**(18): 1367-74.
- [87] Saleh A, Thirukumaran C, Mesfin A, Molinari RW. Complications and readmission after lumbar spine surgery in elderly patients: an analysis of 2,320

- patients. The spine journal : official journal of the North American Spine Society. 2017; **17**(8): 1106-12.
- [88] Tetreault L, Ibrahim A, Cote P, Singh A, Fehlings MG. A systematic review of clinical and surgical predictors of complications following surgery for degenerative cervical myelopathy. Journal of neurosurgery Spine. 2016; **24**(1): 77-99.
- [89] Paul JC, Lonner BS, Goz V, Weinreb J, Karia R, Toombs CS, et al. Complication rates are reduced for revision adult spine deformity surgery among high-volume hospitals and surgeons. The spine journal : official journal of the North American Spine Society. 2015; **15**(9): 1963-72.
- [90] McLynn RP, Diaz-Collado PJ, Ottesen TD, Ondeck NT, Cui JJ, Bovonratwet P, et al. Risk factors and pharmacologic prophylaxis for venous thromboembolism in elective spine surgery. The spine journal : official journal of the North American Spine Society. 2017.
- [91] Sebastian AS, Currier BL, Clarke MJ, Larson D, Huddleston PM, 3rd, Nassr A. Thromboembolic Disease after Cervical Spine Surgery: A Review of 5,405 Surgical Procedures and Matched Cohort Analysis. Global spine journal. 2016; **6**(5): 465-71.
- [92] Yoshioka K, Murakami H, Demura S, Kato S, Tsuchiya H. Prevalence and risk factors for development of venous thromboembolism after degenerative spinal surgery. Spine. 2015; **40**(5): E301-6.
- [93] Fu KM, Smith JS, Polly DW, Jr., Perra JH, Sansur CA, Berven SH, et al. Morbidity and mortality in the surgical treatment of 10,329 adults with degenerative lumbar stenosis. Journal of neurosurgery Spine. 2010; **12**(5): 443-6.
- [94] Cox JB, Weaver KJ, Neal DW, Jacob RP, Hoh DJ. Decreased incidence of venous thromboembolism after spine surgery with early multimodal prophylaxis: Clinical article. Journal of neurosurgery Spine. 2014; **21**(4): 677-84.
- [95] Dearborn JT, Hu SS, Tribus CB, Bradford DS. Thromboembolic complications after major thoracolumbar spine surgery. Spine. 1999; **24**(14): 1471-6.
- [96] Glotzbecker MP, Bono CM, Wood KB, Harris MB. Thromboembolic disease in spinal surgery: a systematic review. Spine. 2009; **34**(3): 291-303.
- [97] Zacharia BE, Kahn S, Bander ED, Cederquist GY, Cope WP, McLaughlin L, et al. Incidence and risk factors for preoperative deep venous thrombosis in 314 consecutive patients undergoing surgery for spinal metastasis. Journal of neurosurgery Spine. 2017; **27**(2): 189-97.

- [98] Gould MK, Garcia DA, Wren SM, Karanicolas PJ, Arcelus JJ, Heit JA, et al. Prevention of VTE in nonorthopedic surgical patients: Antithrombotic Therapy and Prevention of Thrombosis, 9th ed: American College of Chest Physicians Evidence-Based Clinical Practice Guidelines. Chest. 2012; **141**(2 Suppl): e227S-e77S.
- [99] Practice advisory for perioperative visual loss associated with spine surgery: an updated report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Perioperative Visual Loss. Anesthesiology. 2012; **116**(2): 274-85.
- [100] Basques BA, Anandasivam NS, Webb ML, Samuel AM, Lukasiewicz AM, Bohl DD, et al. Risk Factors for Blood Transfusion With Primary Posterior Lumbar Fusion. Spine. 2015; **40**(22): 1792-7.
- [101] Chiu CK, Chan CY, Aziz I, Hasan MS, Kwan MK. Assessment of Intraoperative Blood Loss at Different Surgical Stages During Posterior Spinal Fusion Surgery in the Treatment of Adolescent Idiopathic Scoliosis. Spine. 2016; **41**(9): E566-73.
- [102] Pauyo T, Verma N, Marwan Y, Aoude A, Khashan M, Weber MH. Canadian Consensus for the Prevention of Blood Loss in Spine Surgery. Spine. 2017; **42**(1): E50-e5.