

Anesthésie pour chirurgie de l'épaule

Dr Axel Maurice-Szamburski

Département d'anesthésie réanimation, Clinique Juge, 116 rue Jean Mermoz, 13008 Marseille

Auteur correspondant : Dr Axel Maurice-Szamburski
Email : amszamburski@gmail.com

Pas de conflits d'intérêt

Points Essentiels

- La chirurgie de l'épaule est associée à des niveaux de douleurs particulièrement élevés
- La sensibilité de l'épaule dépend principalement des racines C5 et C6
- Les positions opératoires de type demi-assise et latérale présentent une morbidité spécifique
- L'anesthésie locorégionale occupe un rôle central dans la prise en charge périopératoire

Introduction

L'épaule est la région morphologique à l'origine de la jonction du membre supérieur au tronc. Elle associe 3 articulations, sterno-costo-claviculaire, acromio-claviculaire et scapulo-serrato-thoracique, ainsi que 2 plans de glissements, synovial subacromio-deltoïdien et synovial scapulo-huméral de type sphéroïde.

La chirurgie de l'épaule est associée à des niveaux de douleurs postopératoires particulièrement élevés et volontiers peu sensible aux opioïdes du fait d'une innervation à la physiologie complexe [1-3]. L'évolution des techniques chirurgicales, arthroscopiques et mini-invasives, de pair avec l'efficacité de l'anesthésie locorégionale, ont permis l'essor du parcours ambulatoire grâce à des suites opératoires plus simples et à un meilleur contrôle de la douleur [4].

Innervation de l'épaule

Motricité de l'épaule

L'articulation gléno-humérale

Les muscles du plan anatomique profond de l'articulation gléno-humérale ont pour rôle essentiel de capter la tête humérale dans sa glène.

Ils associent la longue portion du biceps brachial et la coiffe des rotateurs.

- Le long biceps chemine dans un espace appelé intervalle des rotateurs. Il est innervé par le nerf musculo-cutané, issu des racines C5 et C6 du faisceau latéral du plexus brachial. Il est abducteur de l'épaule et abaisse la tête humérale.

La coiffe des rotateurs est composée de la convergence des tendons de 4 muscles.

- Le muscle subscapularis (sous-scapulaire) est innervé par le nerf sous-scapulaire, issu des racines C5 et C6 du faisceau postérieur du plexus brachial. Il est rotateur interne de l'épaule.
- Le muscle infraspinatus (infra-épineux) est innervé par le nerf supra-scapulaire, issu des racines C5 et C6 du tronc supérieur du plexus brachial. Il est rotateur externe de l'épaule.

- Le muscle teres minor (petit-rond) est innervé par le nerf axillaire, issu des racines C5 et C6 du faisceau postérieur du plexus brachial. Il est rotateur externe de l'épaule.
- Le muscle supraspinatus (supra-épineux) est innervé par le nerf supra-scapulaire, issu des racines C5 et C6 du tronc supérieur du plexus brachial. Il est abducteur de l'épaule.

Les muscles du plan anatomique superficiel de l'articulation gléno-humérale ont pour rôle de mettre en mouvement l'épaule. Ce sont le grand pectoral, grand dorsal, grand rond et deltoïde.

- Le muscle grand pectoral est innervé par les nerfs pectoraux latéral (principalement) et médial, issus de l'anse des pectoraux et des racines C5 à C8 et T1.
- Le muscle grand dorsal est innervé par le nerf thoraco-dorsal issu des racines C6 à C8 du faisceau postérieur du plexus brachial.
- Le muscle grand rond est innervé par le nerf sous-scapulaire inférieur, issu des racines C5 et C6 du faisceau postérieur du plexus brachial
- Le muscle deltoïde est innervé par le nerf axillaire, issu des racines C5 et C6 de la branche terminale du faisceau postérieur du plexus brachial. Il a la particularité de recouvrir le moignon de l'épaule et comporte 3 faisceaux antérieur, moyen et postérieur, respectivement à l'origine de mouvement d'antépulsion, abduction et rétropulsion.

L'articulation scapulo-thoracique

La ceinture scapulaire ajoute à l'articulation gléno-humérale l'articulation scapulo-thoracique, en charge de la stabilisation de la scapula (omoplate) par rapport à la cage thoracique et des mouvements dépassant les 90° de flexion et d'abduction. L'articulation scapulo-humérale est mue par les muscles serratus anterior (grand dentelé), rhomboïde, sterno-cléido-mastoïdien et trapèze.

- Le muscle serratus anterior (grand dentelé) est innervé par le nerf thoracique long issu des racines C5, C6 et accessoirement C7 du tronc supérieur du plexus brachial.

- Le muscle rhomboïde est innervé par le nerf scapulaire dorsal issu de la branche collatérale ventrale de C5 avant son anastomose au plexus brachial.
- Le muscle sterno-cléido-mastoïdien est innervé par le nerf accessoire XI, 11^{ème} paire crânienne du tronc cérébral.
- Le muscle trapèze est innervé par le nerf accessoire XI, 11^{ème} paire crânienne du tronc cérébral pour son faisceau supérieur et par le nerf du trapèze issu des racines C3 et C4 du plexus cervical, respectivement pour ses faisceaux moyen et inférieur.

Il apparaît de cette approche anatomique que l'innervation motrice du plan profond de l'articulation gléno-humérale est sous la dépendance exclusive des racines C5 et C6 du plexus brachial. Le plan superficiel de l'articulation gléno-humérale y ajoute les racines C7, C8 et T1. Enfin, l'articulation scapulo-thoracique ajoute les racines cervicales C3 et C4 ainsi que la 11^{ème} paire crânienne. Une paralysie motrice complète de l'épaule, souhaitable dans certaines interventions réalisées sous anesthésie locorégionale exclusive, sera difficile à obtenir notamment au niveau de l'articulation scapulo-thoracique à l'origine de mouvements d'ascension et abaissement de l'épaule.

Sensibilité de l'épaule

Territoire cutané

La sensibilité cutanée de l'épaule est assurée par le nerf supra-claviculaire et le nerf axillaire. Le nerf supra-claviculaire, exclusivement sensitif, est issu des branches antérieures C3 et C4 du plexus cervical superficiel. Son territoire d'innervation correspond à une épaulette posée de part et d'autre de cou, recouvrant le thorax sous forme de cape depuis la seconde côte en antérieur jusqu'au sommet de la scapula en postérieur et s'étendant latéralement jusqu'au relief de l'acromion et l'insertion proximale du muscle deltoïde. Le nerf axillaire, sensitivo-moteur, prend alors le relai en innervant le territoire cutané situé en superficie du muscle deltoïde, qu'il innerve également par ses contingents moteur, depuis ses insertions proximales jusqu'à la pointe du V deltoïdien correspondant à son insertion distale à l'humérus. Il est issu des racines C5 et C6 de la branche terminale du faisceau postérieur du plexus brachial.

Capsule articulaire

La sensibilité profonde de l'articulation de l'épaule peut être systématisée selon un territoire antérieur et postérieur.

L'innervation de la partie antérieure de l'articulation est sous la dépendance du nerf sous-scapulaire, du nerf axillaire et du nerf pectoral latéral.

- Le nerf sous-scapulaire, sensitivo-moteur, est issu des racines C5 et C6 du faisceau postérieur du plexus brachial. Il se divise en trois branches depuis la face antérieure de la scapula jusqu'au muscle sous-scapulaire qu'il innervé de ses contingents moteurs. Ses contingents sensitifs évoluent latéralement vers l'espace sous-acromial et la partie antérieure de l'articulation.
- Le nerf axillaire, sensitivo-moteur, est issu des racines C5 et C6 de la branche terminale du faisceau postérieur du plexus brachial. Il traverse le muscle sous-scapulaire et donne une première branche médiale sensitive, innervant la partie antéro-inférieure de l'articulation jusqu'à la tête humérale. La seconde branche, motrice, innervé le muscle teres minor et donne une branche articulaire au niveau de l'insertion du triceps au récessus axillaire latéral.
- Le nerf pectoral latéral, sensitivo-moteur, est issu des racines C5, C6 et accessoirement C7 du faisceau latéral du plexus brachial. Après avoir donné une branche anastomotique avec le nerf pectoral médial et l'innervation motrice du muscle grand pectoral, il donne une branche sensitive articulaire vers le processus coracoïde puis perfore l'aponévrose clavi-pectorale et vient innervé la partie antéro-supérieure de l'articulation.

L'innervation postérieure de l'articulation dépend principalement du nerf supra-scapulaire et de branches accessoires du nerf axillaire.

- Le nerf supra-scapulaire, sensitivo-moteur, est issu des racines C5 et C6 du tronc supérieur du plexus brachial. En plus de l'innervation motrice du muscle infra-spinatus, il donne une branche sensitive supérieure innervant l'articulation acromio-claviculaire et une branche sensitive inférieure innervant la partie postérieure de la capsule articulaire. C'est le nerf le plus important de la sensibilité de l'épaule.

- Au niveau postérieur, le nerf axillaire donne quelques rameaux accessoires innervant la partie inférieure de la capsule articulaire.

La sensibilité de l'épaule dépend donc principalement des racines C5 et C6 du plexus brachial, auxquelles il faut ajouter les branches C3 et C4 du plexus cervical superficiel afin de couvrir le territoire cutané adjacent. Cette systématisation sensitive doit guider le praticien dans son choix d'une technique d'anesthésie et/ou d'analgésie locorégionale [5]. En anesthésie locorégionale exclusive, il conviendra de sensibiliser le chirurgien à circonscrire sa voie d'abord aux territoires couverts par l'anesthésie ou à défaut de réaliser des blocs de compléments. Un abord très postérieur imposerait la réalisation d'un bloc intercostal ou paravertébral. Un abord très antérieur ou en dedans du sillon delto-pectoral nécessiterait la réalisation d'un PEC bloc. Un abord de la face interne de la portion proximale du bras nécessiterait un bloc intercostobrachial.

La chirurgie de l'épaule

Acromioplastie

L'acromion constitue avec le ligament acromio-coracoïdien le toit de l'articulation de l'épaule sous lequel coulissent les tendons de la coiffe des rotateurs lors des mouvements d'élévations du bras. La présence d'un conflit sous-acromial associant douleurs et limitation des amplitudes peut constituer en soi une indication chirurgicale et évoluer vers une rupture des tendons de la coiffe des rotateurs. Une des interventions les plus courantes consiste à traiter l'inflammation des tendons de la coiffe des rotateurs et de la bourse séreuse adjacente en élargissant l'espace de glissement contraint par un acromion et/ou un ligament acromio-coracoïdien trop épais ou présentant un profil traumatisant. L'évolution, souvent longue, de cette pathologie associe volontiers des lésions tendineuses à type de calcification voire des ruptures infracliniques. L'acromioplastie est donc systématiquement associée à une vérification de l'état des tendons de la coiffe des rotateurs et le cas échéant à un geste thérapeutique concomitant sur ses tendons. Cette intervention est le plus souvent réalisée sous arthoscopie.

Réparation de la coiffe des rotateurs

La rupture d'un ou plusieurs tendons de la coiffe des rotateurs va se manifester par des douleurs, une diminution en force et en amplitude des mouvements actifs d'élévation et de rotation du bras. L'évolution naturelle se poursuit alors vers une aggravation des lésions jusqu'à la destruction complète des structures tendineuses de la coiffe des rotateurs, plus complexe à réparer et au pronostic fonctionnel incertain. La réparation de la coiffe des rotateurs consiste à ancrer les tendons rompus à leurs zones d'insertions originelles sur la tête humérale. Le premier temps de l'intervention comporte un nettoyage avec résection des tissus inflammatoires puis avivement des surfaces osseuses et tendineuses à affronter, dans un second temps des ancrés sont insérées à l'humérus pour y solidariser les tendons. Le geste de réparation tendineuse s'accompagne la plupart du temps d'une résection acromiale comparable à celle de l'acromioplastie évoquée plus haut. Cette intervention est le plus souvent réalisée sous arthroscopie.

Biceps à l'épaule

Un conflit sous-acromial peut également être responsable de lésions inflammatoires de la longue portion du biceps au niveau de son espace de glissement à la partie supérieure de la tête humérale. Cette tendinopathie du biceps sur conflit sous-acromial peut évoluer vers la rupture tendineuse. L'intervention consiste en une acromioplastie assortie d'une ténotomie simple ou d'une ténodèse du biceps selon l'âge du patient et ses attentes en termes d'activité physique. La lésion du biceps peut également se situer au niveau de son insertion sur la glène et être dû à des mouvements de grande amplitude de l'épaule pratiqués dans certains sports de lancer, on parle alors de SLAP lésion. L'intervention consiste parfois en une réinsertion du biceps dans la glène à l'aide d'ancres en cas de traumatisme récent, ou en une ténotomie simple ou avec ténodèse. Cette intervention est le plus souvent réalisée sous arthroscopie.

Stabilisation de l'épaule

L'articulation de l'épaule est caractérisée par une grande amplitude de mouvement et permet la circumduction. La tête humérale est contrainte au contact de la glène de l'omoplate par trois structures, la capsule articulaire qui circonscrit l'articulation, une structure ligamentaire complexe et une structure fibrocartilagineuse du pourtour de la glène, le labrum. Le caractère

non totalement congruent de cette articulation explique l'incidence des luxations observées à son niveau, que ce soit après un traumatisme, une activité sportive intense voire même certains gestes répétitifs de la vie courante. Quand les épisodes de luxation se répètent, une stabilisation de l'épaule peut être requise pour limiter la détérioration de l'articulation, améliorer le confort des patients et éviter les risques inhérents à chaque luxation (rupture de la coiffe, étirement du plexus, fracture). Deux interventions sont proposées dans ce contexte.

- L'intervention de Bankart

Chez le jeune sportif, c'est la capsule et le labrum antéro-inférieur qui sont endommagés. L'intervention de Bankart consiste en un ancrage de sutures entre la capsule et les ligaments, impactés dans la glène. Cette intervention est désormais très fréquemment associée à une réinsertion de la face profonde de la coiffe des rotateurs dans l'encoche humérale appelée technique de remplissage, à l'origine d'une majoration notable des douleurs postopératoires autrefois modérées dans l'intervention de Bankart simple. Cette intervention est le plus souvent réalisée sous arthroscopie.

- La butée

Chez les sujets sportifs présentant une instabilité émaillée d'épisodes de luxations répétés, une stabilisation plus robuste peut être proposée. Le processus coracoïde est prélevé par un abord antérieur de l'articulation de l'épaule, puis fixé en avant de la glène pour constituer un hauban dynamique limitant la translation antérieure de la tête humérale. Certains chirurgiens réalisent cette intervention sous arthroscopie, mais l'abord à ciel ouvert reste fréquent.

Pathologies acromio-claviculaires

Bien que l'articulation entre l'acromion et la clavicule soit relativement très peu mobile, elle peut d'une part présenter des phénomènes inflammatoires et arthrosiques, et d'autre part une instabilité post-traumatique. En présence de lésions d'arthropathie distale claviculaire et acromiale en miroir, une résection acromio-claviculaire peut être réalisée afin d'élargir l'espace et diminuer le conflit mécanique. Une instabilité à type de disjonction acromio-claviculaire d'origine traumatique peut quant à elle se voir proposer une intervention de stabilisation qui vise à restituer sa position anatomique à l'extrémité disjoints de la clavicule. Une luxation récente sera traitée par une stabilisation simple, sous arthroscopie ou à ciel ouvert, consistant à abaisser la clavicule par une suture à la coracoïde afin de favoriser une cicatrisation naturelle des ligaments disjoints. A distance du traumatisme, la cicatrisation

ligamentaire devient hypothétique et l'intervention consistera en une ligamentoplastie avec résection acromio-claviculaire, en chirurgie ouverte ou arthroscopique.

Prothèse d'épaule

Les lésions arthrosiques de l'articulation de l'épaule sont responsables de douleurs et d'une dégradation fonctionnelle progressive invalidante. A ce stade, ou plus précocement en cas de douleurs résistantes, l'indication d'un remplacement prothétique peut-être posée. L'intervention présente des analogies avec l'arthroplastie de hanche dans le cas d'une prothèse d'épaule anatomique et consiste en un remplacement de la tête humérale par une prothèse en alliage métallique et une préparation de la glène avec pose d'une surface receveuse en polyéthylène. Une prothèse inversée pourra être proposée chez le sujet plus âgé en cas de lésions de la coiffe des rotateurs associées ou de lésions majeures et isolées de la coiffe des rotateurs sans lésion cartilagineuse, mais avec impotence majeure ; sa conformation permet d'attribuer au muscle deltoïde une partie des mouvements d'élévations initialement mis par une coiffe désormais défaillante. Enfin, une arthrose précoce ou certaines fractures proximales de l'humérus peuvent poser l'indication d'une prothèse partielle, ne remplaçant que la tête humérale. Ces interventions sont réalisées en chirurgie ouverte.

Principaux risques liés positionnement du patient en chirurgie de l'épaule

La position demi-assise

Depuis les années 90, la chirurgie arthroscopique de l'épaule est souvent réalisée en position demi-assise [6]. Bien que cette position soit plus sûre en termes de risque de lésion nerveuse [7], un mauvais maintien de la tête dans cette position peut être à l'origine de compressions des nerfs petit occipital ou grand auriculaire [8], voire même d'une tétraplégie médio-cervicale complète [9]. L'impossibilité de placer un garrot en amont de l'articulation de l'épaule rend également la visualisation du champ opératoire tributaire du gradient de pression vasculaire s'exerçant à son niveau. Un gradient de 50 mmHg entre la pression artérielle systolique et la pression d'irrigation du liquide de lavage dans l'espace sous-acromiale semble nécessaire à un confort chirurgical [10]. Ce gradient peut être obtenu soit par une augmentation de la pression de la pompe d'arthroscopie responsable d'une extravasation tissulaire du liquide d'arthroscopie potentiellement grave [11], soit par une

hypotension artérielle à risque d'hypoperfusion cérébrale, médullaire ou oculaire y compris chez le sujet jeune indemne de comorbidité [12, 13]. Afin d'éviter ces complications, il convient de maintenir le débit sanguin cérébral dans les bornes de ses capacités d'autorégulation. La pression nécessaire au maintien de la perfusion cérébrale est supérieure à 50mmHg au niveau du polygone de Willis, soit au niveau du conduit auditif externe [14]. Si la mesure de la pression artérielle à ce niveau n'est pas accessible en pratique courante, il est cependant possible de l'évaluer en soustrayant la pression hydrostatique liée à la déclivité de la pression artérielle à l'endroit de sa mesure. Placer le brassard à tension au niveau du bras controlatéral à la chirurgie permet de diminuer la marge d'erreur de cette mesure. On considère que la différence de pression obtenue pour un centimètre d'élévation et d'environ 0.75 mmHg [15]. Selon le degré d'inclinaison du dossier de la table d'intervention, la différence d'élévation entre le bras controlatéral à la chirurgie, où doit être mesuré la pression artérielle, et le conduit auditif externe est d'environ 25 à 30 cm, soit une différence de pression de 20 mmHg. Conformément à ces données théoriques, il apparaît dans une étude clinique récente que le maintien d'une pression artérielle moyenne, mesurée au bras, supérieure ou égale à 70 mmHg soit sûre [16]. Ces bornes, données à titre d'illustration, doivent être interprétées avec prudence chez le sujet âgé, vasculaire, hypertendu, diabétique, souffrant d'apnées obstructives du sommeil ou obèse [17]. Dans ces populations ou en cas de pression artérielle inférieure à la borne basse d'autorégulation, il convient d'utiliser un monitorage spécifique de la perfusion cérébrale, bien que le seuil de désaturation à respecter reste à préciser [18]. Une alternative consiste à effectuer l'intervention en décubitus latéral.

Le décubitus latéral

La position latérale permet d'éviter les risques d'hypoperfusion liés à la surélévation de la tête [19, 20]. Cette position est toutefois associée à un risque plus important de lésion nerveuse avec un taux global de paresthésie transitoire de 10%, la plupart du temps spontanément résolutif en 48h [9]. La mise en traction du membre opéré peut être à l'origine de lésions du plexus brachial et de compressions des nerfs périphériques au bras [21]. La position de la jambe homolatérale à la chirurgie peut être le siège d'une compression du nerf fibulaire externe [22]. L'étude des potentiels évoqués somatosentitifs après décubitus latéral met en évidence des anomalies systématiques au nerf musculocutané et une fois sur deux au nerf ulnaire, median, ou radial [23]. Des phénomènes de compression vasculaires peuvent également être observés [24]. Le nerf ulnaire semble le plus concerné par les lésions

nerveuses cliniques [7, 25]. Les risques d'étirement du plexus brachial peuvent être minorés avec une flexion antérieure limitée à 45° associé à une d'abduction de l'épaule de 0 ou 90° [26]. Le contrepoids du système de traction ne doit idéalement pas dépasser 7 kg et le degré de rotation interne de l'humérus doit être augmenté à mesure que le degré de flexion antérieur augmente [22, 23, 26].

Anesthésie et analgésie locorégionale de l'épaule

La chirurgie de l'épaule est à l'origine de douleurs sévères, persistant plusieurs jours après l'intervention [27, 28]. Un traitement analgésique systémique exclusif est à l'origine de niveaux de consommation en opioïdes comparables à ceux d'une chirurgie de gastrectomie ou de thoracotomie [29, 30]. Les doses d'opioïdes nécessaires après chirurgie de l'épaule sont telles qu'elles s'associent systématiquement à des effets indésirables comme les nausées, vomissements, prurit, troubles du sommeil et ralentissement du transit [31]. Une approche multimodale associant du paracetamol, des anti-inflammatoires non-stéroïdiens et du tramadol, suffit pas à réduire significativement la consommation d'opioïdes après une chirurgie de l'épaule lourde comme par exemple celle de la coiffe des rotateurs ou encore la prothèse totale [32, 33]. Par ailleurs, une forte consommation d'opioïdes en postopératoire associée à une douleur mal contrôlée est responsable de phénomènes de sensibilisation douloureuse et d'hyperalgésie induite préjudiciables pour le devenir du patient [34, 35] et à risque de chronicisation douloureuse [36]. Le développement de la chirurgie arthroscopique est souvent présenté comme un motif d'abandon des techniques d'anesthésie locorégionale, du fait d'un bénéfice théorique de diminution des niveaux douloureux postopératoires. Toutefois, ce bénéfice reste minime et n'apparaît qu'à distance de la chirurgie, une fois la phase aigüe de la douleur nociceptive résolue [37]. Ainsi, les besoins en antalgiques d'une chirurgie arthroscopique de l'épaule sont comparables à leurs équivalents en chirurgie ouverte sur les 48 premières heures postopératoires et plus du tiers des patients présentera toujours des douleurs sévères malgré une analgésie multimodale avec opioïde [28].

Les données actuelles de la littérature présentent donc la réalisation d'une anesthésie locorégionale comme indispensable pour la majorité des chirurgies de l'épaule [38].

Éléments d'anatomie du plexus brachial et implications cliniques

Le plexus brachial débute l'union des rameaux ventraux primaires des nerfs cervicaux C5 à C8 et comprend une bonne partie de T1. Les racines C5 et C6 s'unissent au bord médial du muscle scalène moyen pour former le tronc supérieur du plexus brachial ; la racine C7 est à l'origine du tronc intermédiaire et les racines C8 et T1 s'unissent pour former le tronc inférieur. L'émergence de la racine C7 depuis la 7^{ème} vertèbre cervicale est facilement identifiable en échographie du fait de l'absence de tubercule antérieur de son processus transverse [39]. Les racines et les troncs ainsi formés cheminent dans l'espace interscalénique. Les trois troncs vont ensuite présenter une division antérieure et postérieure au bord latéral de la première côte puis se réorganiser en faisceau latéral, postérieur et médial selon leur situation par rapport à l'artère axillaire, pour enfin donner les branches terminales du plexus brachial. Le faisceau latéral est à l'origine du nerf musculo-cutané et du contingent latéral du nerf médian. Le faisceau postérieur donne les nerfs radial et axillaire. Le faisceau médial est à l'origine du nerf ulnaire et du contingent médial du nerf médian. Les branches intermédiaires du faisceau médian sont également à l'origine du nerf cutané antébrachial interne et du nerf cutané interne, se joignant au nerf intercostobrachial depuis la racine T2 pour innérer la peau de la face interne du bras.

Si les racines C5 et C6, les plus impliquées dans la sensibilité de l'épaule, peuvent être abordées au niveau de l'espace interscalénique, d'autres structures nerveuses importantes se situent à proximité. Le nerf supra-claviculaire, issu des racines C3 et C4 du plexus cervical superficiel, donne la sensibilité cutanée de la partie supérieure de l'épaule jusqu'au cou. Bien que n'appartenant pas au plexus brachial, le nerf supra-claviculaire est en règle générale atteint par diffusion de l'anesthésique local injecté dans l'espace intersclénique. Il peut aussi être abordé spécifiquement, par exemple au bord latéral du muscle sterno-cléido-mastoïdien, en regard de la 4^{eme} vertèbre cervicale. Le nerf phrénique, issu des racines C3 et C4, chemine en superficalité du muscle scalène antérieur et doit être évité par l'aiguille [40], bien qu'il soit également atteint par diffusion de l'anesthésique local depuis une injection dans l'espace interscalénique.

L'analgésie pour chirurgie de l'épaule nécessite le blocage des racines nerveuses C5 et C6, ou du tronc supérieur qui donne naissance aux nerfs supra-scapulaire, axillaire et pectoral latéral innervant l'épaule. Différents abords permettent de l'obtenir.

Le bloc interscalénique

Le blocage du plexus brachial s'effectue dans l'espace interscalénique au niveau de ses racines C5 et C6, adjacents à la 6^{ème} vertèbre cervicale [41]. On distingue 3 abords écho guidés possibles.

L'abord par voie postérieure de type Pippa [42] présente plusieurs inconvénients. Il est douloureux et nécessite de devoir passer à travers les muscles du cou. Il impose également de traverser le muscle scalène moyen qui contient deux branches proximales du plexus brachial, à savoir le nerf thoracique long et le nerf scapulaire dorsal, ce qui peut les lésionner. Il présente aussi le risque d'un faux trajet vers le rachis cervical et d'anesthésie péridurale haute.

L'abord latéral, « dans le plan », partage avec l'abord postérieur le risque de lésion des nerfs cheminant dans le muscle scalène moyen, que l'aiguille doit traverser pour aborder l'espace interscalénique.

Enfin l'abord « en dehors du plan », constituant une modification de l'abord latéral classique, semble le plus sûr [43]. La situation superficielle du plexus à son niveau offre un trajet moins profond à l'aiguille par rapport à l'abord latéral ou postérieur et la technique bénéficie d'une bonne reproductibilité [44], en plus de permettre la pose d'un cathéter périnerveux [45]. L'extrémité de l'aiguille doit se placer entre les racines C5 et C6. Le signe du « feu rouge » est constitué depuis le pôle céphalique jusqu'au pôle caudal par la racine C5, les fascicules supérieurs de C6 et les fascicules inférieurs de C6, et non pas C7 [46]. La technique consistant à cibler l'espace visualisé entre la racine moyenne et la racine inférieure du « feu rouge » doit être abandonnée, car elle va guider l'aiguille non pas entre C6 et C7 mais précisément dans la bifurcation de la racine C6, et constituer une injection intraneurale non souhaitable.

Quel que soit le type d'approche choisie, une stimulation nerveuse à l'origine d'une réponse motrice deltoïde peut être recherchée pour confirmer la bonne position de l'extrémité de l'aiguille. Un volume de 5 à 7ml de naropeïne est suffisant pour obtenir un bloc chirurgical

tout en diminuant les risques de diffusion vers le foramen intervertébral et le retentissement respiratoire [47, 48].

Le blocage du plexus brachial au niveau interscalénique peut toutefois être à l'origine de divers effets indésirables, du plus sérieux au plus bénin :

- Diffusion péridurale [49, 50], très rare avec les voies d'abord modernes, à l'origine d'une bradycardie avec collapsus et arrêt respiratoire imposant une réanimation rapide;
- Pneumothorax, beaucoup plus rare qu'avec l'abord supra-claviculaire du nerf supra-scapulaire [51] ;
- Injection intravasculaire, du fait de la proximité des vaisseaux carotides et jugulaires [52], soulignant l'intérêt de l'écho guidage ;
- Bradycardie-hypotension ou réflexe de Bezold-Jarisch [53], typiquement secondaire à l'utilisation d'une solution d'anesthésiques locaux adrénalinée en position assise chez un patient sédaté, de survenue retardée d'environ une heure après l'injection [54] ;
- Paralysie hémi-diaphragmatique, quasi-constante [55], à l'origine d'une diminution des indices fonctionnels respiratoire de 25 à 30% [56] ;
- Paralysie laryngée unilatérale [57], bénigne, liée à une diffusion au nerf récurrent laryngé, secondaire à un volume trop important d'anesthésiques locaux et souvent associée au syndrome de Syndrome de Claude Bernard – Horner. Elle nécessite une simple diminution des volumes et une information du patient [49] ;
- Syndrome de Claude Bernard – Horner, bénin, secondaire au bloc de la chaîne sympathique cervicale [57], une simple information du patient sur la nature bénigne de ce trouble suffit ;

Le bloc interscalénique du plexus brachial est efficace sur la douleur, diminue la consommation d'opioïdes ainsi que les nausées et vomissements postopératoires [58], et permet un retour à domicile significativement plus rapide [59]. Il est considéré comme le gold standard en chirurgie de l'épaule [38]. Son efficacité antalgique persiste jusqu'à 24h [60, 61]. Passé ce délai et comme toutes les techniques en injection unique, il peut être à l'origine d'un phénomène de rebond douloureux [62], la plupart des chirurgies de l'épaule présentant toujours des douleurs après J+1.

Afin de prolonger l'efficacité du bloc interscalénique en injection unique, certains auteurs suggèrent l'utilisation d'adjuvants comme la dexaméthasone [63]. Malgré tout, les adjuvants ne permettent au mieux que de reporter les phénomènes de rebond douloureux de quelques heures et ne permettent pas de prolonger suffisamment l'analgésie après une chirurgie lourde comme celle de la coiffe des rotateurs, posant les bases des indications du cathéter périnerveux. L'obtention d'une analgésie satisfaisante sur les 24 premières heures ne suffit en effet pas à prévenir le risque de chronicisation douloureuse, qui est associé aux niveaux de douleurs persistant dans les 4 jours postopératoire [36]. Pour la chirurgie mineure de l'épaule où un bloc en injection unique peut être suffisant, l'utilisation de dexamethasone intraveineuse est comparable à son injection périneurale et procure une analgésie efficace jusque 25 heures après un bloc supraclaviculaire. La dexaméthasone intraveineuse à la dose de 8 mg présente l'avantage d'éviter la neurotoxicité propre à tout adjuvant de l'anesthésie locorégionale injecté en périneurale [64].

Le cathéter périnerveux interscalénique

La prolongation du bénéfice analgésique procuré par le bloc interscalénique en injection unique peut être obtenue par la pose d'un cathéter périnerveux.

Après chirurgie arthroscopique lourde de l'épaule, 90% des patients n'ayant pas bénéficié d'une anesthésie locorégionale présentent une échelle numérique de douleur (EN) supérieure à 4 sur 10 à J+1 et 85% à J+2, malgré une analgésie multimodale par voie systémique. A J+7, près de 60% de ces patients présentent toujours des scores de douleurs supérieures à 4 sur 10. Si la réalisation d'un bloc interscalénique en injection unique permet de réduire efficacement la douleur des 24 premières heures, les patients bénéficiant de cette technique retrouvent un profil comparable à ceux n'ayant pas reçu d'anesthésie locorégionale dès J+2. Un cathéter périnerveux avec diffusion d'anesthésique locaux pendant 48h, permet un bénéfice analgésique toujours présent à J+7, où 74% des patients vont présenter une EN inférieure à 4 [59]. Si l'efficacité analgésique observée pendant la période de maintien du cathéter est évidente, la rémanence de ses effets à J+7, soit plusieurs jours après son retrait, s'explique probablement par la diminution des phénomènes de sensibilisation induite par la douleur aigüe et une épargne morphinique significative [65].

Après chirurgie arthroscopique mineure incluant des acromioplasties, traitement des pathologies acromio-claviculaires et interventions de Bankart sans remplissage, le cathéter périnerveux est supérieur à l'injection unique dans les 24 premières heures en termes d'analgesie et permet une épargne morphinique significative jusque 48h [37]. Après chirurgie ouverte de la coiffe des rotateurs, le maintien d'un cathéter périnerveux analgésique pour 48h permet une réduction significative de la consommation d'opioïdes et une amélioration du sommeil [66].

Ces résultats sont conformes à ceux d'une méta-analyse récente reprenant 15 essais prospectifs randomisés, dans laquelle le cathéter interscalénique procurait la meilleure analgesie des 48 premières heures pour la douleur au mouvement et au repos ainsi qu'une épargne opioïde jusque 72 heures sans augmenter les effets indésirables par rapport au bloc interscalénique en injection unique [67]. Logiquement, la durée d'hospitalisation était plus courte et la récupération meilleure chez les patients ayant bénéficié d'un cathéter interscalénique. Il est intéressant de noter que les effets indésirables respiratoires n'étaient pas majorés chez les patients recevant un cathéter, avec une diminution de 11 % des indices fonctionnels respiratoires par rapport au bloc en injection unique. En revanche l'incidence des nausées et vomissements postopératoire était plus faible chez les patients avec cathéter [67].

Le bloc du nerf supra-scapulaire

Le nerf supra-scapulaire contribue pour 70% de l'innervation de la capsule articulaire de l'épaule et comprend la bourse sous-acromiale, l'articulation acromio-claviculaire et le ligament coraco-claviculaire [68]. Le nerf axillaire et dans une moindre mesure le nerf pectoral latéral complètent l'innervation sensitive de l'épaule. Un bloc spécifique du nerf axillaire peut le compléter au niveau de l'espace quadrangulaire neurovasculaire situé en profondeur du deltoïde entre les muscles teres minor et triceps brachial, où il chemine parallèlement aux vaisseaux postérieurs circonflexes huméraux [69].

Le bloc du nerf supra-scapulaire peut être abordé au niveau de la fossette supra-épineuse de la scapula où il chemine parallèlement à l'artère supra-scapulaire [70]. Une approche plus antérieure, au niveau de la fosse supra-claviculaire a récemment été décrite [71]. Cette technique fait écho à une meilleure compréhension de la systématisation du plexus brachial [72]. Selon ces données récentes, la division postérieure du tronc supérieur semblerait plus proche du nerf supra-scapulaire et un anesthésique local délivré au niveau du nerf supra-scapulaire antérieur, près de son origine proximale le long du plexus brachial, serait susceptible de diffuser à la division postérieure du tronc supérieur. Les nerfs axillaire et sous-scapulaire émergeant depuis cette division postérieure, la nécessité d'un blocage sélectif de ces nerfs serait inutile [73]. Toutefois, cette approche est grevée d'un risque de pneumothorax supérieur au bloc interscalénique [51].

Cette approche sélective de l'anesthésie locorégionale de l'épaule vise principalement à éviter les risques liés au blocage temporaire du nerf phrénique ou au risque théorique de paralysie diaphragmatique persistante [74]. Par ailleurs, le blocage d'un nerf périphérique comme le nerf supra-scapulaire, plutôt qu'un abord au niveau des racines et troncs comme le bloc interscalénique, présente l'avantage de diminuer les conséquences d'une potentielles lésion nerveuse, bien que rare [75]. Le bloc du nerf supra-scapulaire n'épargne pas systématiquement la fonction diaphragmatique et reste à l'origine d'une paralysie phrénique chez 9% des patients [76].

L'impact respiratoire du bloc supra-scapulaire mérite aussi d'être relativisé dans la mesure où seulement 25% de la capacité fonctionnelle est concernée [56].

Une méta-analyse reprenant 16 études et plus de mille patients rapportait des niveaux de consommation d'opioïde non-supérieurs avec un bloc du nerf supra-scapulaire comparé au bloc interscalénique, qui présentait toutefois des scores de douleurs mieux contrôlés [77]. L'ajout d'un bloc axillaire au bloc supra-scapulaire ne permet pas d'atteindre la non-infériorité comparée à un bloc interscalénique, en termes de niveaux douloureux [78]. Le bloc supra-scapulaire antérieur présente l'avantage de préserver 90% de la capacité vitale, contre 67% pour le bloc interscalénique ($P<0.001$) [73]. Dans la population des patients opérés d'une prothèse totale d'épaule, la pose d'un cathéter supra-scapulaire peut représenter une

alternative au cathéter interscalénique si une meilleure préservation de la capacité vitale est impérative [79]. Malgré un rapport bénéfice/risque qui semble intéressant chez les sujets à risque respiratoire, la proximité du point d'entrée du cathéter ou de la ponction avec le champ chirurgical pose le problème de la réalisation du bloc supra-scapulaire en pratique courante, quel que soit la technique de son abord.

L'infiltration chirurgicale de la bourse sous-acromiale et intra-articulaire

Bien que n'étant pas une technique d'anesthésie locorégionale, les infiltrations sont de plus en plus promues par les chirurgiens. Comme toutes les techniques d'infiltration, elles présentent l'inconvénient d'une efficacité limitée et très temporaire, de l'ordre de seulement 9 heures, malgré l'utilisation de nombreux adjuvants [80]. L'utilisation d'un cathéter d'infiltration intra-articulaire est aussi à l'origine de phénomènes de chondrolyse gléno-humérale sévère et doit être proscrite [81].

Les critères de choix de la technique d'anesthésie locorégionale

Selon la chirurgie

La technique d'abord chirurgical, arthroscopique ou ouverte, n'est pas un critère prédictif fiable du niveau douloureux postopératoire. L'anesthésiste devra choisir sa prise en charge analgésique selon chaque intervention.

L'acromioplastie simple, la résection acromio-claviculaire, la ténotomie simple du biceps, l'intervention de Bankart sans remplissage, la résection acromio-claviculaire et la stabilisation simple de la clavicule présentent des profils douloureux modérés.

La réalisation d'un bloc nerveux en injection unique avec un anesthésique local de longue durée d'action est pertinente dans ces indications [37], même si une analgésie continue par cathéter peut se justifier selon le profil du patient et sa tolérance pour les anti-inflammatoire non stéroïdiens et les opioïdes faibles.

La butée, la prothèse totale d'épaule ainsi que tous les gestes impliquant la coiffe des rotateurs comme l'acromioplastie avec calcification, l'intervention de Bankart avec technique de remplissage et la réparation de la coiffe des rotateurs, présentent des profils douloureux majeurs. Chez ces patients un cathéter périnerveux analgésique doit être préféré.

Selon le patient

Si le type d'intervention est un élément du choix de la technique analgésique, le profil du patient ainsi que ses attentes sont déterminants.

Un traitement par opioïdes au long cours [82] ou une douleur préopératoire augmente significativement l'intensité de la douleur aigüe postopératoire ainsi que le risque de chronicisation douloureuse, que cette douleur siège au site chirurgical ou ailleurs [83]. La présence d'une surcharge psychologique [84], d'une anxiété pathologique objectivée par un score validé [85], ou d'une vision catastrophiste de la douleur [86], participe avec l'intensité de la douleur aigüe postopératoire au risque de chronicisation douloureuse à 6 mois et au-delà [87]. Les patients présentant ces facteurs de risque peuvent être qualifiés de vulnérables à la douleur et nécessitent une prise en charge analgésique maximaliste tout en épargnant l'utilisation d'opioïdes [82].

La présence d'une comorbidité respiratoire est un autre élément déterminant du choix de la technique locorégionale. La réalisation d'une anesthésie locorégionale du plexus brachial au niveau de l'espace interscalénique est à l'origine d'une paralysie diaphragmatique ipsilatérale quasi constante [76]. L'impact d'un bloc interscalénique sur la fonction respiratoire est comparable à celle observée dans toute paralysie phrénique. La diminution de la capacité vitale fonctionnelle est de l'ordre de 25% après un bloc interscalénique et celle de la capacité vitale forcée est de 27% [56].

Un patient porteur d'une pathologie respiratoire comme une bronchopneumopathie chronique obstructive doit faire l'objet d'un avis spécialisé. La question à poser au spécialiste est celle de la capacité du patient à supporter une perte de 25% de sa capacité vitale fonctionnelle. En cas de réponse négative, l'anesthésiste doit considérer les techniques d'anesthésie locorégionale sélectives du nerf supra-scapulaire, plutôt qu'une simple analgésie contrôlée par opioïde (PCA). En effet, l'utilisation d'une PCA en lieu et place d'un cathéter interscalénique est à l'origine d'une dégradation comparable de la fonction respiratoire et ne présente aucun intérêt [88]. La PCA est par ailleurs associée à une explosion des effets indésirables avec 60% de nausée vomissements postopératoire contre 5% dans le groupe cathéter, en plus d'avoir une efficacité médiocre sur la douleur [88].

Selon le chirurgien

De nombreux chirurgiens adoptent une posture défavorable vis-à-vis de l'anesthésie locorégionale [89]. Si le risque de neuropathie après un bloc nerveux périphérique existe, il reste faible, de l'ordre de 2 pour 12 000 anesthésies avant l'avènement de l'écho guidage [52]. Par ailleurs, il convient de rappeler ici que la chirurgie présente un risque de complication neurologique bien plus élevé, variant selon les études de 0,2% à 10% [90].

Au-delà du risque partagé lié au positionnement du patient évoqué plus haut en décubitus latéral ou assis, les procédures chirurgicales sont directement traumatisantes pour certains nerfs. Le trocart d'arthroscopie latéral est associé à un risque de lésion du nerf axillaire chez 10% des patients [91]. Un placement antéro-inférieur présente un risque encore plus grand, un trocar trans-sub-scapulaire étant positionné à seulement 1 cm du nerf axillaire [92]. Tout trocart antérieur positionné médialement par rapport à la coracoïde présente un risque de lésion du nerf musculocutané et du faisceau latéral du plexus brachial [93]. Les ancre placées au pôle supérieur de la glène comme lors de la réparation des SLAP lésions peuvent comprimer le nerf supra-scapulaire [94], qui se situe à seulement 2 cm de leurs points d'insertions [95]. Les chirurgies de stabilisation de l'épaule impliquant une suture capsulolabrale peuvent également lésion le nerf axillaire qui se situe 1,5 cm sous la capsule gléno-humérale inférieure, où les sutures capsulaires sont habituellement insérées [96]. La chirurgie ouverte de l'épaule n'est pas en reste. La chirurgie de réparation de la coiffe peut être réalisée en « mini-open » à travers le muscle deltoïde, ou en « open » après détachement de celui-ci depuis l'acromion. Ces abords pourront lésion branche antérieure du nerf axillaire dans 2,6% des cas [97]. La réparation des ruptures de coiffes massives nécessite une dissection du supraspinatus et de la fosse infraspinale potentiellement à même de lésion le nerf supra-scapulaire qui passe dans l'incisure supra-scapulaire [98]. Le nerf suprascapulaire est très difficile à distinguer des moignons tendineux, ou peut même avoir été lésé avant l'intervention [99]. La chirurgie ouverte de stabilisation de l'épaule, nécessitant un abord deltopectoral, sera responsable d'un taux de lésion nerveuse de 0,8 à 8,2% [90]. Enfin, la chirurgie de remplacement prothétique de l'épaule présente un risque neurologique de 0,8 à 4,3% [100, 101], par traumatisme direct, compression des écarteurs, hématome ou étirement du plexus brachial [102]. Elle est à l'origine de lésions axillaire, musculocutanée et ulnaire [103-105].

Conclusion

Si la chirurgie de l'épaule a connu des évolutions notables, elle reste pourvoyeuse de niveaux de douleur postopératoires élevés. L'anesthésie locorégionale est incontournable dans la quasi-totalité de ses indications. La promotion du parcours ambulatoire ne doit pas se faire au détriment de la qualité de l'analgésie et place l'anesthésiste au centre de la prise en charge.

Bibliographie

- [1] Ide, K., Shirai, Y., Ito, H. & Ito, H. Sensory nerve supply in the human subacromial bursa. *J. Shoulder Elbow Surg.* **5**, 371–382 (1996).
- [2] Vangsness, C. T. J., Ennis, M., Taylor, J. G. & Atkinson, R. Neural anatomy of the glenohumeral ligaments, labrum, and subacromial bursa. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg. Off. Publ. Arthrosc. Assoc. N. Am. Int. Arthrosc. Assoc.* **11**, 180–184 (1995).
- [3] Pirec, V., Laurito, C. E., Lu, Y. & Yeomans, D. C. The combined effects of N-type calcium channel blockers and morphine on A delta versus C fiber mediated nociception. *Anesth. Analg.* **92**, 239–243 (2001).
- [4] D'Alessio, J. G., Rosenblum, M., Shea, K. P. & Freitas, D. G. A retrospective comparison of interscalene block and general anesthesia for ambulatory surgery shoulder arthroscopy. *Reg. Anesth.* **20**, 62–68 (1995).
- [5] Aszmann, O. C., Dallon, A. L., Birely, B. T. & McFarland, E. G. Innervation of the human shoulder joint and its implications for surgery. *Clin. Orthop.* 202–207 (1996).
- [6] Skyhar, M. J., Altchek, D. W., Warren, R. F., Wickiewicz, T. L. & O'Brien, S. J. Shoulder arthroscopy with the patient in the beach-chair position. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg. Off. Publ. Arthrosc. Assoc. N. Am. Int. Arthrosc. Assoc.* **4**, 256–259 (1988).
- [7] Berjano, P., Gonzalez, B. G., Olmedo, J. F., Perez-Espana, L. A. & Munilla, M. G. Complications in arthroscopic shoulder surgery. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg. Off. Publ. Arthrosc. Assoc. N. Am. Int. Arthrosc. Assoc.* **14**, 785–788 (1998).
- [8] Park, T.-S. & Kim, Y.-S. Neuropraxia of the cutaneous nerve of the cervical plexus after shoulder arthroscopy. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg. Off. Publ. Arthrosc. Assoc. N. Am. Int. Arthrosc. Assoc.* **21**, 631 (2005).
- [9] Rains, D. D., Rooke, G. A. & Wahl, C. J. Pathomechanisms and complications related to patient positioning and anesthesia during shoulder arthroscopy. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg. Off. Publ. Arthrosc. Assoc. N. Am. Int. Arthrosc. Assoc.* **27**, 532–541 (2011).
- [10] Morrison, D. S., Schaefer, R. K. & Friedman, R. L. The relationship between subacromial space pressure, blood pressure, and visual clarity during arthroscopic subacromial decompression. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg. Off. Publ. Arthrosc. Assoc. N. Am. Int. Arthrosc. Assoc.* **11**, 557–560 (1995).
- [11] Hynson, J. M. et al. Complete airway obstruction during arthroscopic shoulder surgery. *Anesth. Analg.* **76**, 875–878 (1993).
- [12] Pohl, A. & Cullen, D. J. Cerebral ischemia during shoulder surgery in the upright position: a case series. *J. Clin. Anesth.* **17**, 463–469 (2005).
- [13] Bhatti, M. T. & Enneking, F. K. Visual loss and ophthalmoplegia after shoulder surgery. *Anesth. Analg.* **96**, 899–902, table of contents (2003).
- [14] Drummond, J. C. The lower limit of autoregulation: time to revise our thinking? *Anesthesiology* **86**, 1431–1433 (1997).
- [15] Papadonikolakis, A., Wiesler, E. R., Olympio, M. A. & Poehling, G. G. Avoiding catastrophic complications of stroke and death related to shoulder surgery in the sitting position. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg. Off. Publ. Arthrosc. Assoc. N. Am. Int. Arthrosc. Assoc.* **24**, 481–482 (2008).
- [16] Soeding, P. F. et al. The effect of the sitting upright or ‘beachchair’ position on cerebral blood flow during anaesthesia for shoulder surgery. *Anaesth. Intensive Care* **39**, 440–448 (2011).

- [17] Pant, S., Bokor, D. J. & Low, A. K. Cerebral oxygenation using near-infrared spectroscopy in the beach-chair position during shoulder arthroscopy under general anesthesia. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg. Off. Publ. Arthrosc. Assoc. N. Am. Int. Arthrosc. Assoc.* **30**, 1520–1527 (2014).
- [18] Salazar, D. *et al.* Cerebral desaturation events during shoulder arthroscopy in the beach chair position: patient risk factors and neurocognitive effects. *J. Shoulder Elbow Surg.* **22**, 1228–1235 (2013).
- [19] Sculco, T. P. Global blood management in orthopaedic surgery. *Clin. Orthop.* 43–49 (1998).
- [20] Tuncali, B., Karci, A., Bacakoglu, A. K., Tuncali, B. E. & Ekin, A. Controlled hypotension and minimal inflation pressure: a new approach for pneumatic tourniquet application in upper limb surgery. *Anesth. Analg.* **97**, 1529–1532 (2003).
- [21] Gelber, P. E., Reina, F., Caceres, E. & Monllau, J. C. A comparison of risk between the lateral decubitus and the beach-chair position when establishing an anteroinferior shoulder portal: a cadaveric study. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg. Off. Publ. Arthrosc. Assoc. N. Am. Int. Arthrosc. Assoc.* **23**, 522–528 (2007).
- [22] Peruto, C. M., Ciccotti, M. G. & Cohen, S. B. Shoulder arthroscopy positioning: lateral decubitus versus beach chair. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg. Off. Publ. Arthrosc. Assoc. N. Am. Int. Arthrosc. Assoc.* **25**, 891–896 (2009).
- [23] Pitman, M. I., Nainzadeh, N., Ergas, E. & Springer, S. The use of somatosensory evoked potentials for detection of neuropraxia during shoulder arthroscopy. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg. Off. Publ. Arthrosc. Assoc. N. Am. Int. Arthrosc. Assoc.* **4**, 250–255 (1988).
- [24] Hennrikus, W. L., Mapes, R. C., Bratton, M. W. & Lapoint, J. M. Lateral traction during shoulder arthroscopy: its effect on tissue perfusion measured by pulse oximetry. *Am. J. Sports Med.* **23**, 444–446 (1995).
- [25] Andrews, J. R., Carson, W. G. J. & Ortega, K. Arthroscopy of the shoulder: technique and normal anatomy. *Am. J. Sports Med.* **12**, 1–7 (1984).
- [26] Klein, A. H., France, J. C., Mutschler, T. A. & Fu, F. H. Measurement of brachial plexus strain in arthroscopy of the shoulder. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg. Off. Publ. Arthrosc. Assoc. N. Am. Int. Arthrosc. Assoc.* **3**, 45–52 (1987).
- [27] Borgeat, A., Schappi, B., Biasca, N. & Gerber, C. Patient-controlled analgesia after major shoulder surgery: patient-controlled interscalene analgesia versus patient-controlled analgesia. *Anesthesiology* **87**, 1343–1347 (1997).
- [28] Wilson, A. T., Nicholson, E., Burton, L. & Wild, C. Analgesia for day-case shoulder surgery. *Br. J. Anaesth.* **92**, 414–415 (2004).
- [29] Tuominen, M., Pitkanen, M. & Rosenberg, P. H. Postoperative pain relief and bupivacaine plasma levels during continuous interscalene brachial plexus block. *Acta Anaesthesiol. Scand.* **31**, 276–278 (1987).
- [30] Ritchie, E. D. *et al.* Suprascapular nerve block for postoperative pain relief in arthroscopic shoulder surgery: a new modality? *Anesth. Analg.* **84**, 1306–1312 (1997).
- [31] Ilfeld, B. M., Morey, T. E., Wright, T. W., Chidgey, L. K. & Enneking, F. K. Continuous interscalene brachial plexus block for postoperative pain control at home: a randomized, double-blinded, placebo-controlled study. *Anesth. Analg.* **96**, 1089–1095, table of contents (2003).
- [32] Coghlan, J. A., Forbes, A., McKenzie, D., Bell, S. N. & Buchbinder, R. Efficacy of subacromial ropivacaine infusion for rotator cuff surgery. A randomized trial. *J. Bone Joint Surg. Am.* **91**, 1558–1567 (2009).

- [33] Ilfeld, B. M. *et al.* Ambulatory continuous interscalene nerve blocks decrease the time to discharge readiness after total shoulder arthroplasty: a randomized, triple-masked, placebo-controlled study. *Anesthesiology* **105**, (2006).
- [34] Kehlet, H., Jensen, T. S. & Woolf, C. J. Persistent postsurgical pain: risk factors and prevention. *Lancet Lond. Engl.* **367**, 1618–1625 (2006).
- [35] Angst, M. S. & Clark, J. D. Opioid-induced hyperalgesia: a qualitative systematic review. *Anesthesiology* **104**, 570–587 (2006).
- [36] Peters, M. L. *et al.* Somatic and psychologic predictors of long-term unfavorable outcome after surgical intervention. *Ann. Surg.* **245**, 487–494 (2007).
- [37] Fredrickson, M. J., Ball, C. M. & Dalgleish, A. J. Analgesic effectiveness of a continuous versus single-injection interscalene block for minor arthroscopic shoulder surgery. *Reg. Anesth. Pain Med.* **35**, 28–33 (2010).
- [38] Fredrickson, M. J., Krishnan, S. & Chen, C. Y. Postoperative analgesia for shoulder surgery: a critical appraisal and review of current techniques. *Anaesthesia* **65**, 608–624 (2010).
- [39] Martinoli, C. *et al.* Sonography of entrapment neuropathies in the upper limb (wrist excluded). *J. Clin. Ultrasound JCU* **32**, 438–450 (2004).
- [40] Kessler, J., Schafhalter-Zoppoth, I. & Gray, A. T. An ultrasound study of the phrenic nerve in the posterior cervical triangle: implications for the interscalene brachial plexus block. *Reg. Anesth. Pain Med.* **33**, 545–550 (2008).
- [41] Winnie, A. P. Interscalene brachial plexus block. *Anesth. Analg.* **49**, 455–466 (1970).
- [42] van Geffen, G. J., Rettig, H. C., Koornwinder, T., Renes, S. & Gielen, M. J. M. Ultrasound-guided training in the performance of brachial plexus block by the posterior approach: an observational study. *Anaesthesia* **62**, 1024–1028 (2007).
- [43] Meier, G., Bauereis, C. & Heinrich, C. [Interscalene brachial plexus catheter for anesthesia and postoperative pain therapy. Experience with a modified technique]. *Anaesthetist* **46**, 715–719 (1997).
- [44] Kapral, S. *et al.* Ultrasonographic guidance improves the success rate of interscalene brachial plexus blockade. *Reg. Anesth. Pain Med.* **33**, 253–258 (2008).
- [45] Marhofer, P., Harrop-Griffiths, W., Willschke, H. & Kirchmair, L. Fifteen years of ultrasound guidance in regional anaesthesia: Part 2-recent developments in block techniques. *Br. J. Anaesth.* **104**, 673–683 (2010).
- [46] Franco, C. D. & Williams, J. M. Ultrasound-Guided Interscalene Block: Reevaluation of the ‘Stoplight’ Sign and Clinical Implications. *Reg. Anesth. Pain Med.* **41**, 452–459 (2016).
- [47] Gautier, P. *et al.* The minimum effective anesthetic volume of 0.75% ropivacaine in ultrasound-guided interscalene brachial plexus block. *Anesth. Analg.* **113**, 951–955 (2011).
- [48] Vandepitte, C., Gautier, P., Xu, D., Salviz, E. A. & Hadzic, A. Effective volume of ropivacaine 0.75% through a catheter required for interscalene brachial plexus blockade. *Anesthesiology* **118**, 863–867 (2013).
- [49] Boezaart, A. P., Koorn, R., Borene, S. & Edwards, J. N. Continuous brachial plexus block using the posterior approach. *Reg. Anesth. Pain Med.* **28**, 70–71 (2003).
- [50] Lombard, T. P. & Couper, J. L. Bilateral spread of analgesia following interscalene brachial plexus block. *Anesthesiology* **58**, 472–473 (1983).
- [51] Borgeat, A., Kalberer, F., Jacob, H., Ruetsch, Y. A. & Gerber, C. Patient-controlled interscalene analgesia with ropivacaine 0.2% versus bupivacaine 0.15% after major open shoulder surgery: the effects on hand motor function. *Anesth. Analg.* **92**, 218–223 (2001).

- [52] Auroy, Y. *et al.* Serious complications related to regional anesthesia: results of a prospective survey in France. *Anesthesiology* **87**, 479–486 (1997).
- [53] Liguori, G. A., Kahn, R. L., Gordon, J., Gordon, M. A. & Urban, M. K. The use of metoprolol and glycopyrrolate to prevent hypotensive/bradycardic events during shoulder arthroscopy in the sitting position under interscalene block. *Anesth. Analg.* **87**, 1320–1325 (1998).
- [54] D'Alessio, J. G., Weller, R. S. & Rosenblum, M. Activation of the Bezold-Jarisch reflex in the sitting position for shoulder arthroscopy using interscalene block. *Anesth. Analg.* **80**, 1158–1162 (1995).
- [55] al-Kaisy, A. A., Chan, V. W. & Perlas, A. Respiratory effects of low-dose bupivacaine interscalene block. *Br. J. Anaesth.* **82**, 217–220 (1999).
- [56] Urmey, W. F. & McDonald, M. Hemidiaphragmatic paresis during interscalene brachial plexus block: effects on pulmonary function and chest wall mechanics. *Anesth. Analg.* **74**, 352–357 (1992).
- [57] Seltzer, J. L. Hoarseness and Horner's syndrome after interscalene brachial plexus block. *Anesth. Analg.* **56**, 585–586 (1977).
- [58] Hughes, M. S., Matava, M. J., Wright, R. W., Brophy, R. H. & Smith, M. V. Interscalene brachial plexus block for arthroscopic shoulder surgery: a systematic review. *J. Bone Joint Surg. Am.* **95**, 1318–1324 (2013).
- [59] Salviz, E. A. *et al.* Continuous interscalene block in patients having outpatient rotator cuff repair surgery: a prospective randomized trial. *Anesth. Analg.* **117**, 1485–1492 (2013).
- [60] Singelyn, F. J., Lhotel, L. & Fabre, B. Pain relief after arthroscopic shoulder surgery: a comparison of intraarticular analgesia, suprascapular nerve block, and interscalene brachial plexus block. *Anesth. Analg.* **99**, 589–592, table of contents (2004).
- [61] Fontana, C. *et al.* Postoperative analgesia for arthroscopic shoulder surgery: a prospective randomized controlled study of intraarticular, subacromial injection, interscalenic brachial plexus block and intraarticular plus subacromial injection efficacy. *Eur. J. Anaesthesiol.* **26**, 689–693 (2009).
- [62] DeMarco, J. R., Componovo, R., Barfield, W. R., Liles, L. & Nietert, P. Efficacy of augmenting a subacromial continuous-infusion pump with a preoperative interscalene block in outpatient arthroscopic shoulder surgery: a prospective, randomized, blinded, and placebo-controlled study. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg. Off. Publ. Arthrosc. Assoc. N. Am. Int. Arthrosc. Assoc.* **27**, 603–610 (2011).
- [63] Choi, S., Rodseth, R. & McCartney, C. J. L. Effects of dexamethasone as a local anaesthetic adjuvant for brachial plexus block: a systematic review and meta-analysis of randomized trials. *Br. J. Anaesth.* **112**, 427–439 (2014).
- [64] Abdallah, F. W. *et al.* Intravenous dexamethasone and perineural dexamethasone similarly prolong the duration of analgesia after supraclavicular brachial plexus block: a randomized, triple-arm, double-blind, placebo-controlled trial. *Reg. Anesth. Pain Med.* **40**, 125–132 (2015).
- [65] Richebe, P., Rivat, C., Laulin, J.-P., Maurette, P. & Simonnet, G. Ketamine improves the management of exaggerated postoperative pain observed in perioperative fentanyl-treated rats. *Anesthesiology* **102**, 421–428 (2005).
- [66] Borgeat, A., Aguirre, J., Marquardt, M., Mrdjen, J. & Blumenthal, S. Continuous interscalene analgesia with ropivacaine 0.2% versus ropivacaine 0.3% after open rotator cuff repair: the effects on postoperative analgesia and motor function. *Anesth. Analg.* **111**, 1543–1547 (2010).

- [67] Vorobeichik, L., Brull, R. & Abdallah, F. W. Evidence basis for using perineural dexmedetomidine to enhance the quality of brachial plexus nerve blocks: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Br. J. Anaesth.* **118**, 167–181 (2017).
- [68] Chan, C. & Peng, P. W. H. Suprascapular nerve block: a narrative review. *Reg. Anesth. Pain Med.* **36**, 358–373 (2011).
- [69] Rothe, C., Asghar, S., Andersen, H. L., Christensen, J. K. & Lange, K. H. W. Ultrasound-guided block of the axillary nerve: a volunteer study of a new method. *Acta Anaesthesiol. Scand.* **55**, 565–570 (2011).
- [70] Price, D. J. The shoulder block: a new alternative to interscalene brachial plexus blockade for the control of postoperative shoulder pain. *Anaesth. Intensive Care* **35**, 575–581 (2007).
- [71] Siegenthaler, A. *et al.* Ultrasound-guided suprascapular nerve block, description of a novel supraclavicular approach. *Reg. Anesth. Pain Med.* **37**, 325–328 (2012).
- [72] Hanna, A. The SPA arrangement of the branches of the upper trunk of the brachial plexus: a correction of a longstanding misconception and a new diagram of the brachial plexus. *J. Neurosurg.* **125**, 350–354 (2016).
- [73] Auyong, D. B. *et al.* Comparison of Anterior Suprascapular, Supraclavicular, and Interscalene Nerve Block Approaches for Major Outpatient Arthroscopic Shoulder Surgery: A Randomized, Double-blind, Noninferiority Trial. *Anesthesiology* (2018). doi:10.1097/ALN.0000000000002208
- [74] Robaux, S., Bouaziz, H., Boisseau, N., Raucoles-Aime, M. & Laxenaire, M. C. Persistent phrenic nerve paralysis following interscalene brachial plexus block. *Anesthesiology* **95**, 1519–1521 (2001).
- [75] Sites, B. D. *et al.* Incidence of local anesthetic systemic toxicity and postoperative neurologic symptoms associated with 12,668 ultrasound-guided nerve blocks: an analysis from a prospective clinical registry. *Reg. Anesth. Pain Med.* **37**, 478–482 (2012).
- [76] Aliste, J. *et al.* A Randomized Comparison Between Interscalene and Small-Volume Supraclavicular Blocks for Arthroscopic Shoulder Surgery. *Reg. Anesth. Pain Med.* (2018). doi:10.1097/AAP.0000000000000767
- [77] Hussain, N. *et al.* Suprascapular and Interscalene Nerve Block for Shoulder Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis. *Anesthesiology* **127**, 998–1013 (2017).
- [78] Dhir, S., Sondekoppam, R. V., Sharma, R., Ganapathy, S. & Athwal, G. S. A Comparison of Combined Suprascapular and Axillary Nerve Blocks to Interscalene Nerve Block for Analgesia in Arthroscopic Shoulder Surgery: An Equivalence Study. *Reg. Anesth. Pain Med.* **41**, 564–571 (2016).
- [79] Auyong, D. B. *et al.* A Double-Blind Randomized Comparison of Continuous Interscalene, Supraclavicular, and Suprascapular Blocks for Total Shoulder Arthroplasty. *Reg. Anesth. Pain Med.* **42**, 302–309 (2017).
- [80] Sogbein, O. A. *et al.* Ultrasound-Guided Motor-Sparing Knee Blocks for Postoperative Analgesia Following Total Knee Arthroplasty: A Randomized Blinded Study. *J. Bone Joint Surg. Am.* **99**, 1274–1281 (2017).
- [81] Matsen, F. A. 3rd & Papadonikolakis, A. Published evidence demonstrating the causation of glenohumeral chondrolysis by postoperative infusion of local anesthetic via a pain pump. *J. Bone Joint Surg. Am.* **95**, 1126–1134 (2013).
- [82] Hina, N., Fletcher, D., Poindessous-Jazat, F. & Martinez, V. Hyperalgesia induced by low-dose opioid treatment before orthopaedic surgery: An observational case-control study. *Eur. J. Anaesthesiol.* **32**, 255–261 (2015).

- [83] Fletcher, D. & Martinez, V. Clinical outcomes to evaluate opioid-induced hyperalgesia. *Br. J. Anaesth.* **114**, 851 (2015).
- [84] Hinrichs-Rocker, A. *et al.* Psychosocial predictors and correlates for chronic post-surgical pain (CPSP) - a systematic review. *Eur. J. Pain Lond. Engl.* **13**, 719–730 (2009).
- [85] Maurice-Szamburski, A., Loundou, A., Capdevila, X., Bruder, N. & Auquier, P. Validation of the French version of the Amsterdam preoperative anxiety and information scale (APAIS). *Health Qual. Life Outcomes* **11**, (2013).
- [86] Sullivan, M. J., Stanish, W., Waite, H., Sullivan, M. & Tripp, D. A. Catastrophizing, pain, and disability in patients with soft-tissue injuries. *Pain* **77**, 253–260 (1998).
- [87] Althaus, A. *et al.* Development of a risk index for the prediction of chronic post-surgical pain. *Eur. J. Pain Lond. Engl.* **16**, 901–910 (2012).
- [88] Borgeat, A., Perschak, H., Bird, P., Hodler, J. & Gerber, C. Patient-controlled interscalene analgesia with ropivacaine 0.2% versus patient-controlled intravenous analgesia after major shoulder surgery: effects on diaphragmatic and respiratory function. *Anesthesiology* **92**, 102–108 (2000).
- [89] Moore, D. D., Maerz, T. & Anderson, K. Shoulder surgeons' perceptions of interscalene nerve blocks and a review of complications rates in the literature. *Phys. Sportsmed.* **41**, 77–84 (2013).
- [90] Dwyer, T. *et al.* Neurological Complications Related to Elective Orthopedic Surgery: Part 1: Common Shoulder and Elbow Procedures. *Reg. Anesth. Pain Med.* **40**, 431–442 (2015).
- [91] Segmuller, H. E., Alfred, S. P., Zilio, G., Saies, A. D. & Hayes, M. G. Cutaneous nerve lesions of the shoulder and arm after arthroscopic shoulder surgery. *J. Shoulder Elbow Surg.* **4**, 254–258 (1995).
- [92] Meyer, M., Gravleau, N., Hardy, P. & Landreau, P. Anatomic risks of shoulder arthroscopy portals: anatomic cadaveric study of 12 portals. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg. Off. Publ. Arthrosc. Assoc. N. Am. Int. Arthrosc. Assoc.* **23**, 529–536 (2007).
- [93] Complications in arthroscopy: the knee and other joints. Committee on Complications of the Arthroscopy Association of North America. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg. Off. Publ. Arthrosc. Assoc. N. Am. Int. Arthrosc. Assoc.* **2**, 253–258 (1986).
- [94] Kim, S.-H., Koh, Y.-G., Sung, C.-H., Moon, H.-K. & Park, Y.-S. Iatrogenic suprascapular nerve injury after repair of type II SLAP lesion. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg. Off. Publ. Arthrosc. Assoc. N. Am. Int. Arthrosc. Assoc.* **26**, 1005–1008 (2010).
- [95] Chan, H., Beaupre, L. A. & Bouliane, M. J. Injury of the suprascapular nerve during arthroscopic repair of superior labral tears: an anatomic study. *J. Shoulder Elbow Surg.* **19**, 709–715 (2010).
- [96] Loomer, R. & Graham, B. Anatomy of the axillary nerve and its relation to inferior capsular shift. *Clin. Orthop.* 100–105 (1989).
- [97] Mansat, P., Cofield, R. H., Kersten, T. E. & Rowland, C. M. Complications of rotator cuff repair. *Orthop. Clin. North Am.* **28**, 205–213 (1997).
- [98] Warner, J. P., Krushell, R. J., Masquelet, A. & Gerber, C. Anatomy and relationships of the suprascapular nerve: anatomical constraints to mobilization of the supraspinatus and infraspinatus muscles in the management of massive rotator-cuff tears. *J. Bone Joint Surg. Am.* **74**, 36–45 (1992).
- [99] Zanotti, R. M. *et al.* The low incidence of suprascapular nerve injury after primary repair of massive rotator cuff tears. *J. Shoulder Elbow Surg.* **6**, 258–264 (1997).

- [100]Wirth, M. A. & Rockwood, C. A. J. Complications of total shoulder-replacement arthroplasty. *J. Bone Joint Surg. Am.* **78**, 603–616 (1996).
- [101]Boardman, N. D. 3rd & Cofield, R. H. Neurologic complications of shoulder surgery. *Clin. Orthop.* 44–53 (1999).
- [102]Lynch, N. M., Cofield, R. H., Silbert, P. L. & Hermann, R. C. Neurologic complications after total shoulder arthroplasty. *J. Shoulder Elbow Surg.* **5**, 53–61 (1996).
- [103]Nagda, S. H. *et al.* Neer Award 2005: Peripheral nerve function during shoulder arthroplasty using intraoperative nerve monitoring. *J. Shoulder Elbow Surg.* **16**, S2-8 (2007).
- [104]Ladermann, A. *et al.* Prevalence of neurologic lesions after total shoulder arthroplasty. *J. Bone Joint Surg. Am.* **93**, 1288–1293 (2011).
- [105]Boileau, P., Sinnerton, R. J., Chuinard, C. & Walch, G. Arthroplasty of the shoulder. *J. Bone Joint Surg. Br.* **88**, 562–575 (2006).