



Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



MISE AU POINT

Le garrot pneumatique



Pneumatic tourniquet

Sandrine Estebe^a, Jean-Pierre Estebe^{b,*}

^a Service d'ORL et de chirurgie maxillo-faciale, CHU de Rennes, rue H.-Le-Guilloux, 35033 Rennes cedex 9, France

^b Département d'anesthésie-réanimation, CHU de Rennes, rue H.-Le-Guilloux, 35033 Rennes cedex 9, France

Reçu le 19 octobre 2015 ; accepté le 3 janvier 2016

Disponible sur Internet le 8 février 2016

MOTS CLÉS

Garrot pneumatique ;
Ischémie–reperfusion ;
Chirurgie
orthopédique

Résumé Le garrot pneumatique (GP) est utile à la réalisation de gestes chirurgicaux effectués sur les membres mais n'est pas dénué d'effets secondaires. L'indication principale du GP n'est pas le contrôle de l'hémostase mais l'obtention d'un champ opératoire exsangue. Le GP doit être placé le plus distal possible. Le GP doit être gonflé pour obtenir une pression supérieure de 50 à 75 mmHg à la pression d'occlusion artérielle. La durée d'utilisation du GP devrait être inférieure à une heure ; des périodes de reperfusion peuvent être proposées à partir de 45–60 min mais pas au-delà de 90 min. Le garrot doit être dégonflé avant la fermeture chirurgicale pour assurer l'hémostase. Après la déflation du garrot, le membre doit être surveillé régulièrement pour dépister des complications neurologiques et/ou vasculaires (artérielles et veineuses).

© 2016 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

KEYWORDS

Tourniquet;
Ischemia–reperfusion;
Orthopedic surgery

Summary The pneumatic tourniquet is commonly used in orthopedic upper and lower limbs surgery to facilitate the operative procedure. It may induce regional and systemic adverse effects such as the ischemia–reperfusion syndrome. The tourniquet must be placed as distal as possible. Inflation pressure is 50 to 75 mmHg higher than the arterial occluding pressure. The duration of inflation should be less than one hour. Transient deflation could be performed after 45–60 minutes but no later than 90 minutes. The tourniquet should be deflated before the

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : jean-pierre.estebe@chu-rennes.fr (J.-P. Estebe).

end of the surgical procedure to allow surgical haemostasis. Further to deflation the limb must be monitored to make an early diagnosis of neurological and/or vascular (arterial and venous) complications.

© 2016 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Introduction

Le garrot pneumatique (GP) est utilisé en chirurgie orthopédique dans le but d'obtenir un champ opératoire exsangue et donc de mieux identifier les différentes structures anatomiques et ainsi de diminuer le temps opératoire. Il faut néanmoins prendre en compte les différents inconvénients de cette pratique [1].

Historiquement l'utilisation du garrot remonte au II^e siècle après J.-C. Un chirurgien français, Jean-Louis Petit, a décrit pour la première fois son utilisation, sous le nom de « tourniquet », pour assurer l'hémostase. Le garrot pneumatique a été introduit par Harvey Cushing en 1904 comme un outil dans la chirurgie des extrémités de membre. Actuellement, malgré un grand nombre de publications, aucune recommandation n'existe concernant son utilisation, et son intérêt demeure discutable.

Une méta-analyse récente comparant le devenir des patients ayant bénéficié ou non d'un GP lors de la mise en place d'une prothèse totale de genou (PTG) a démontré que les complications postopératoires mineures étaient plus fréquentes dans le groupe GP [2]. Une méta-analyse a montré moins de complications thromboemboliques dans le groupe sans GP que dans le groupe avec GP [3]. Même si l'utilisation d'un brassard large, contrôlé électroniquement, a permis d'améliorer la sécurité d'emploi, il existe toujours un risque de lésions de compression et d'accidents d'ischémie–reperfusion [4].

Effets secondaires mécaniques

L'exsanguination du membre

Avant d'insuffler le GP il est de pratique courante d'exsanguiner mécaniquement le membre (par exemple avec une bande d'Esmarch). Cette procédure augmente le risque de fractionnement et de dissémination en cas de tumeur, d'abcès ou de thrombus veineux profond (TVP). La simple surélévation du membre est une méthode sûre et facile mais légèrement moins efficace que la bande d'Esmarch dont l'inconvénient est de générer des pressions très élevées. Cette méthode permet de mieux voir les vaisseaux en assurant la vacuité partielle, tout en conservant en bonne appréciation des autres structures anatomiques, elle pourrait permettre ainsi une meilleure hémostase. Il est recommandé, pour une exsanguination optimale, de surélever le membre supérieur à 90° pendant 5 minutes et le membre inférieur à 45° pendant 5 minutes, sans compression artérielle, ce qui peut facilement être obtenu pendant la préparation du membre (désinfection, installation des champs opératoires). Récemment, un nouveau

brassard stérile à usage unique a été proposé pour améliorer l'exsanguination complète et permettre de positionner le GP au plus proche du site opératoire [5]. Il est important de noter que, même avec une occlusion vasculaire parfaite, une perfusion sanguine peut persister par la vascularisation intra-osseuse.

La pression sous le garrot pneumatique

La peau, les muscles, les nerfs et les vaisseaux peuvent être endommagés par la pression mécanique exercée par le GP du fait des forces sagittales causant une compression et des forces axiales causant un étirement en raison d'une répartition inégale de la pression sous le brassard (Fig. 1).

La pression d'insufflation du garrot ne doit pas être fixée de manière arbitraire (par exemple à 350 mmHg pour le membre inférieur et 250–300 mmHg pour le membre supérieur) afin de minimiser les lésions tissulaires. La pression d'insufflation doit être limitée à la pression d'occlusion artérielle (POA) qui peut être déterminée avant l'application du garrot. La POA dépend de la taille du garrot [6]. La POA est déterminée par la formule de Graham :

$$POA = (P_{sys} - P_{dia} \text{ (mmHg)}) \times (\text{circonférence du membre (cm)} / 3 \text{ (largeur du brassard (cm))} + P_{dia} \text{ [7]}$$

La pression d'insufflation correspond à la POA plus 50 à 75 mmHg. En utilisant cette formule les pressions d'insufflation peuvent être diminuées de 20 à 40% pour les adultes [6] et de plus de 50% pour les enfants [8], par rapport à la pression arbitraire généralement utilisée. Une pression d'insufflation plus basse peut être appliquée, à condition, qu'elle soit ajustée pendant la chirurgie, aux variations de la pression artérielle (PA). Un nouveau dispositif a été introduit récemment, permettant de synchroniser de façon non invasive la PA et la pression du GP [9]. Si la POA n'a pas été déterminée selon la formule de Graham, la pression utilisée peut être de 75 à 100 mmHg au-dessus de la PA systolique [10]. Une pression sub-systolique peut provoquer une congestion veineuse en bloquant le flux veineux mais non artériel. Cet inconvénient est facilement reconnaissable pendant la chirurgie. Par ailleurs, des artères calcifiées non compressibles peuvent limiter l'utilisation du GP.

La masse tissulaire sous le garrot pneumatique

La masse de tissu dont la perfusion est affectée par le GP est plus importante pour le membre inférieur que supérieur (Fig. 2b et 3). La forme du GP est primordiale : un garrot droit ne peut convenir à un membre de forme conique en particulier chez les patients obèses ou sportifs. Un brassard large, de forme adaptée, permet une occlusion plus efficace qu'un brassard étroit et peut être responsable de moins de douleur quand la pression d'insufflation est limitée à

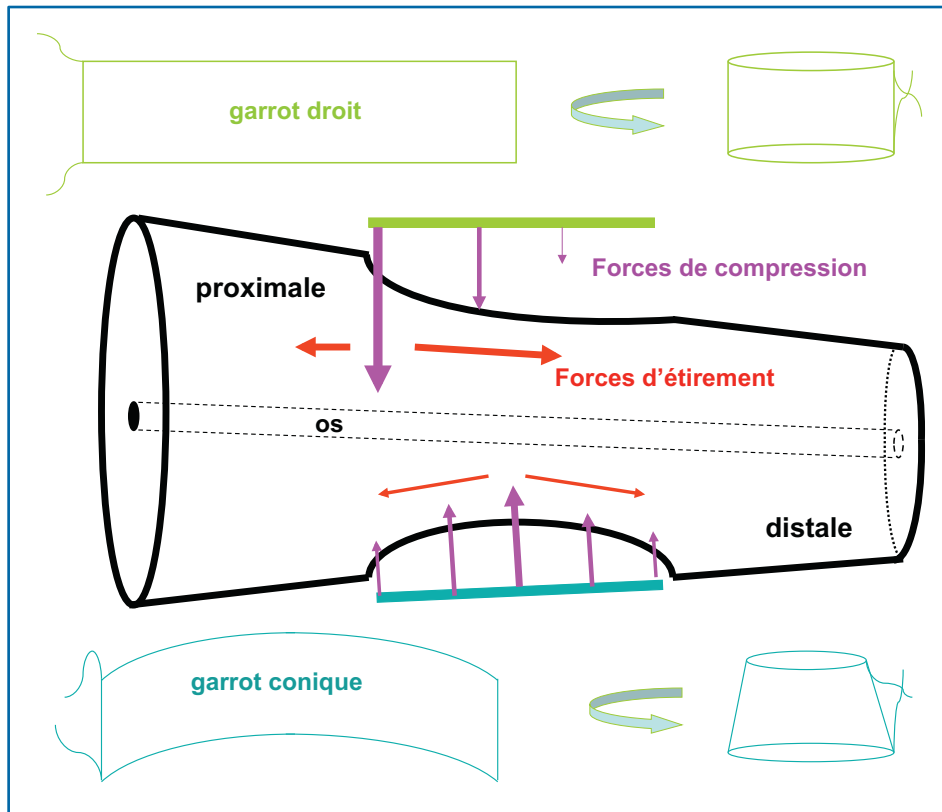


Figure 1. Schéma de répartition des forces sous un garrot droit (vert clair) où sous un garrot curviligne (vert foncé).

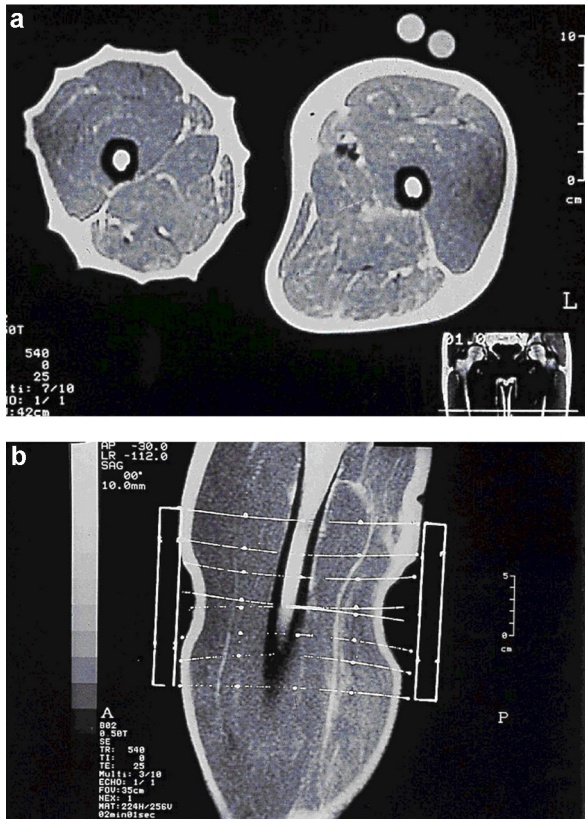


Figure 2. a : coupe transversale de membre inférieur avec et sans garrot ; b : coupe longitudinale de cuisse avec garrot.

son niveau minimal d'efficacité [11,12]. Le brassard le plus large possible doit être utilisé en fonction de la taille du membre (généralement plus de 5 cm pour le membre supérieur et plus de 9 cm pour le membre inférieur) et doit être connecté à un système de gonflage intégré, régulièrement contrôlé. À l'inverse, si la taille du brassard est augmentée



Figure 3. Coupe longitudinale de bras avec garrot.

sans diminuer la pression insufflée, les effets secondaires seront pires [13].

Lésion tissulaire

Peau

Un rembourrage du garrot sans aucun pli au contact de la peau est essentiel pour diminuer les lésions cutanées liées aux contraintes de cisaillement (Fig. 2a). Il faut le séparer du champ opératoire par un champ plastique adhésif avant la préparation cutanée afin d'éviter l'infiltration d'antiseptique sous le GP qui vont favoriser les lésions de brûlures. Récemment, une étude randomisée a montré que les patients avec une pression d'insufflation ≤ 223 mmHg avaient un taux plus faible de complications cutanées [14]. Il existe une corrélation entre la survenue de phlyctènes et le temps d'utilisation du GP dans la chirurgie du genou [15]. Par ailleurs, il existe un risque plus important de surinfection lorsqu'un GP non stérile, réutilisable (68 %) a été utilisé. Il pourrait donc être intéressant d'utiliser des brassards stériles à usage unique pour diminuer une source potentielle d'infection [16].

Le brassard ne doit pas être mobilisé une fois mis en place, les forces de cisaillement due à des mouvements de rotation et de d'ascension proximal du brassard peuvent causer des dommages aux tissus sous-jacents.

Muscle

Il a été clairement démontré dans des études sur animal et sur l'homme que les lésions de compressions dues au garrot entraînaient une perte de fonction musculaire plus importante en termes de force, de contractilité, de vitesse et de fatigabilité que les lésions induites par l'ischémie seule. Il est néanmoins difficile de transposer les conclusions cliniques des études animales à l'homme, tant les fibres musculaires de l'homme sont différentes en termes de composition et de vulnérabilité [4].

Nerfs

Les dysfonctions nerveuses sont probablement sous-estimées car masquées par l'immobilisation éventuelle du membre opéré. Des cas de paralysies transitoires ou permanentes ont été rapportés dans la littérature, surtout en cas de pressions élevées et/ou d'utilisation prolongée [4,17]. Les lésions neurologiques sont surtout dues à des forces de cisaillement. L'utilisation de modèles animaux a permis de démontrer que les lésions nerveuses sont plus importantes sous le brassard qu'à distance (combinaison d'ischémie et d'une déformation mécanique directe) [4].

Une étude récente sur volontaires sains a montré qu'une compression directe d'un nerf entraînait une ischémie neurale avec dépolarisation axonale, suivie d'une hyperpolarisation à la levée de la compression [18]. En plus de l'ischémie, la déformation mécanique d'un nerf entraîne des lésions de la gaine de myéline pouvant aller jusqu'à la démyélinisation suivie de dégénérescence wallérienne. Une compression de courte durée (4 à 13 min) est suffisante pour perturber la conduction nerveuse [19]. Des anomalies ont été notées à l'électromyogramme (EMG) pendant et après

l'utilisation du GP, ces anomalies peuvent persister jusqu'à 6 mois après l'intervention [20].

La douleur induite par le GP peut être expliquée par l'ischémie et la compression [1]. Elle est majorée par des phénomènes d'hyperalgésie (par exemple quand une lésion traumatique est le facteur principal à l'origine des douleurs). Des phénomènes de plasticité neuronale qui élargissent les territoires cutanés douloureux ont été décrits chez l'animal [4].

Pour le membre supérieur, le délai avant l'apparition d'une douleur induite par la pose du GP a été évalué chez des volontaires sains à environ 20–30 min [11,21]. En l'absence d'anesthésie, l'application de crème EMLA diminue la douleur en assurant une anesthésie sous-cutanée semi-circulaire.

Vaisseaux

Le GP peut entraîner des lésions de l'endothélium vasculaire. Les complications artérielles sont rares après mise en place de prothèse de genou mais les conséquences sont très sévères (reconstruction vasculaire ou amputation) particulièrement en présence d'une pathologie vasculaire préexistante. La revascularisation du membre après levée du garrot doit toujours être contrôlée (recherche des pouls distaux ou de la pression capillaire) en postopératoire immédiat pour détecter des problèmes de perfusion [1,4].

Effets de l'ischémie—reperfusion

Durée de l'ischémie

La durée d'ischémie ne comportant pas de risque demeure controversée [1,4]. Une application du GP de plus de 60 minutes augmente les risques de complications après arthroscopie [22]. Néanmoins, il a également été démontré que 3 heures d'ischémie continue ne produisaient pas de lésions globales irréversibles du muscle même s'il en résultait des lésions cellulaires étendues. La durée maximale recommandée d'ischémie induite par le GP est d'une heure [1,4].

Si l'application du GP excède une heure, il est de pratique commune de dégonfler le GP de façon intermittente pour essayer de réduire les lésions secondaires à une ischémie prolongée. Des périodes de reperfusion peuvent débuter après 45 à 60 min d'ischémie et doivent durer plus de 10 min pour être efficaces. Une reperfusion débutée au-delà de 2 heures d'ischémie peut, au contraire, aggraver les lésions musculaires. Afin de réduire la durée totale d'ischémie, il est souvent proposé de relâcher le garrot avant la fermeture chirurgicale, ce qui permet également de faire l'hémostase en fin d'intervention. Une méta-analyse récente confirme que si le GP est dégonflé avant la fermeture, une légère augmentation du temps chirurgical (d'environ 8 min) et du saignement est observé, mais sans différence significative du taux d'hémoglobine par rapport à la levée du garrot après la fermeture chirurgicale. À l'inverse, il existe une diminution significative des complications mineures et majeures [23,24]. La déflation doit être rapide pour éviter un saignement capillaire par engorgement veineux par alimentation d'un flux artériel [1,4].

Effets de la reperfusion

Effets locaux

Le dégonflage du GP entraîne une augmentation immédiate de 10% de la circonférence du membre opéré, du fait du remplissage des vaisseaux et de la vasodilatation hypoxémique, ce qui provoque une augmentation de la pression intra-compartimentale dans le membre reperfusé. À j1 postopératoire, la circonférence du membre peut augmenter de 150% [1,4]. Dégonfler le GP avant la fermeture permet de diminuer l'œdème postopératoire et de laisser passer la période de reperfusion et de gonflement du membre avant la réalisation du pansement et de la mise en place éventuelle d'une attelle et donc de réduire théoriquement le risque de complication comme le syndrome des loges.

En réponse à l'ischémie–reperfusion (IR), une cascade de réponses biologiques peut aboutir à une dégénérescence cellulaire et à une perte de la fonction tissulaire. Malgré l'utilisation fréquente des GP en chirurgie des membres supérieurs et inférieurs, il reste difficile d'identifier les manifestations de l'IR chez l'homme. Des études effectuées sur des modèles animaux ont montré que l'utilisation du GP était associée à des manifestations sévères d'IR pouvant aboutir, à l'extrême, à un choc de reperfusion [1,4]. Les premières manifestations de l'IR, que sont la vasodilatation et l'érythème cutané, sont observées quelques heures après la reperfusion. Les manifestations secondaires d'IR sont liées à une progression de la souffrance cellulaire malgré la reperfusion ; cet œdème lésionnel de reperfusion peut être à l'origine d'un « phénomène de non-reperfusion » par augmentation des pressions tissulaires. Les leucocytes activés lors de la revascularisation jouent un rôle important dans ce phénomène avec une adhésion à l'endothélium des veinules post-capillaires, une rupture de la barrière microvasculaire et avec la formation d'une infiltration tissulaire. Décrit depuis 1951, le *post-tourniquet syndrome* combine faiblesse, raideur, œdème, douleur de type dysesthésique. Ces symptômes ont été attribués, à tort, à un traumatisme chirurgical ou un manque de motivation du patient dans la rééducation postopératoire [1,4].

Peau

La réponse inflammatoire systémique mise en jeux lors de l'utilisation du GP peut être expliquée par une activation des neutrophiles avec une dysfonction endothéliale profonde et prolongée [25]. Les lésions d'hypoxie dans la chirurgie du membre inférieur sont bien sûr plus importantes lors de l'utilisation de GP.

Les GP peuvent être une source potentielle d'infection dont le risque est plus élevé en cas d'utilisation prolongée. Une antibioprophylaxie intraveineuse doit être administrée 10 à 20 min avant de gonfler le brassard puisque, une fois en pression, il isole le membre opéré de la circulation systémique. Si le brassard est déjà gonflé, une injection régionale intraveineuse d'antibiotiques (ATB) peut être une bonne alternative quand cela est possible. L'administration d'ATB 10 min avant de dégonfler le brassard peut être une autre alternative en assurant une concentration tissulaire locale qui serait aussi efficace qu'avant [26].

Muscles

Les muscles peuvent être sévèrement affectés, même lors d'une ischémie de courte durée [1,4]. La perte de la fonction musculaire semble plus importante s'il existe une souffrance tissulaire hémorragique avant l'application du GP. Des cas de rhabdomyolyse avec insuffisance rénale aiguë (IRA) et syndrome des loges ont été rapportés après une utilisation du GP de plus de 4 heures, mais également pour des durées inférieures (45 à 120 min) [27,28].

Le mécanisme des lésions musculaires induites par l'ischémie–reperfusion est encore mal compris. Une activation du complément, une dégranulation des mastocytes, une activation des neutrophiles avec dysfonction microvasculaire jouent un rôle important. Durant l'ischémie, une cascade d'événements biologiques se produit avec déplétion en ATP, acidose et déséquilibre ionique. La production de cytokines, de radicaux libres (ROS) et une libération importante et rapide de calcium dans les cellules avec une dysfonction mitochondriale entraînent une apoptose cellulaire et une nécrose tissulaire. Les lésions musculaires qui découlent de l'IR semblent plus importante chez les patients âgés probablement du fait d'une plus grande sensibilité des muscles striés et d'une atténuation locale de l'expression du gène de *l'insulin like growth factor 1* qui diminue les capacités de régénération locale [1,4].

Nerfs

La dysfonction du membre suite à l'IR est probablement due en grande partie à une atteinte axonale et des jonctions neuromusculaires [1,4]. Après avoir dégonflé le brassard, une sensation de chaleur dans le membre se transforme rapidement en une sensation de brûlure douloureuse. La réponse hyperhémique dure plus longtemps dans les nerfs que dans les muscles et sera plus lourde de conséquences du fait d'une barrière hémato-neurale normalement étanche.

Le contrôle de la douleur postopératoire est important pour une récupération fonctionnelle postopératoire. La cotation de la douleur postopératoire est souvent moins importante en l'absence de GP [29]. Une étude prospective randomisée réalisée chez les patients opérés d'une PTG bilatérale effectuée de chaque côté à une semaine d'intervalle a mis en évidence une diminution de la douleur postopératoire du côté où la pression dans le brassard était moins importante [30]. Il est intéressant de constater que la perception de la douleur postopératoire était plus importante lors de la seconde intervention [31]. Afin de tenter de diminuer la douleur une injection intra-articulaire d'anesthésique locale (AL) peut être réalisée 10 min avant de dégonfler le brassard, afin de permettre une fixation des AL avant la période de *wash-out* qui survient dans les 30 min après avoir relâché le brassard [1].

Vaisseaux

Le risque de thromboses veineuses profondes (TVP) est augmenté si le GP est gonflé plus de 60 min [32]. Par exemple, suite à une arthroscopie, l'incidence des TVP diagnostiquées par phlébographie est d'environ 18% à 1 semaine de la chirurgie. La formation des TVP commence lorsque le brassard est gonflé et continue après son dégonflage du fait d'une augmentation dans la circulation de facteur

pro-thrombotique (D-dimère, activateur du plasminogène tissulaire, enzyme de conversion de l'angiotensine, antithrombine III et protéine C) [33–35] et de la gêne au retour veineux due à l'œdème. La réponse inflammatoire et l'hémostase sont liées par des voies communes d'activation et de boucle de régulation. L'utilisation du GP majore ces réponses avec un pic au moment où le GP est gonflé et jusqu'au deuxième jour postopératoire [36–38]. Un monitoring rapproché des facteurs de la coagulation pourrait permettre de mettre en évidence les TVP asymptomatiques [39].

Effets systémiques

Général

Après avoir dégonflé le brassard, les agents anesthésiques séquestrés dans le membre exsangue sont redistribués dans la circulation systémique et peuvent entraîner un approfondissement de l'anesthésie générale comme le montre le monitoring de l'indice bi-spectrale (BIS) [40,41].

Cardiovasculaire

L'application du GP a des effets significatifs sur le système cardiovasculaire. La PA moyenne augmente progressivement après la mise en place du GP du fait de la douleur [1,4]. Une anesthésie loco-régionale (ALR) permet un meilleur contrôle de la réponse cardiovasculaire. L'injection intraveineuse peropératoire de petites doses de kétamine, de dexmédétomidine ou de clonidine, peut permettre de limiter l'augmentation de la PA lors de l'utilisation du GP.

Une courte période d'hypotension apparaît au moment de la déflation du GP due dans un premier temps à la mise en charge du membre exsanguiné et vasodilaté. Dans un deuxième temps, le passage dans la circulation systémique de métabolites produits en hypoxie (acide lactique, potassium, etc.) peut entraîner une dépression myocardique chez les patients ayant une morbidité cardiaque préexistante surtout après une chirurgie prolongée du membre inférieur [42]. L'hypovolémie postopératoire secondaire à la vasodilatation réactionnelle et l'augmentation de la perméabilité microvasculaire lors de la reperfusion [1,4] ; peut être aggravée par des pertes sanguines peropératoires ou provenant d'une autre lésion (ex. : polytraumatisé).

Pulmonaire

Des embolies pulmonaires (EP) fatales ou sévères ont été rapportées pour la première fois après l'utilisation de bande d'Esmarch pour l'exsanguination et/ou après la déflation du GP [43]. Une corrélation significative a été mise en évidence entre la fréquence des EP et la durée d'utilisation du GP [1,4]. Si 27% des embolies sont observées sans garrot après des gestes orthopédiques (ex. : alésage du fût diaphysaire, cimentage ou vissage en pression), c'est dans 100% des cas que sont observés des embolies après la déflation du GP. Les EP surviennent en chirurgie orthopédique peuvent contenir des embolies graisseuses dus à l'invasion de la cavité médullaire ; des embolies gazeuses et de ciment ont également été décrits. Les embolies chez les patients subissant une chirurgie invasive (ex. : PTG) sont plus fréquentes que

lors de chirurgie non invasive (ex. arthroscopie) [1,4]. Même en l'absence d'un foramen ovale perméable des microembolies cérébraux sont fréquents (60%) lorsque le GP est relâché.

Des lésions pulmonaires aiguës peuvent être observées également lors de la reperfusion par augmentation de la perméabilité microvasculaire, la séquestration de neutrophiles et la génération de radicaux libres. Une activation importante des neutrophiles aboutit à un stress oxydatif. Ainsi, dans des modèles animaux il est possible de provoquer un état de choc léthal avec défaillance pulmonaire par application simultanée de GP sur les 2 membres postérieurs de l'animal pendant 2 heures puis remise en perfusion [1,4].

Neurologique

Lors de la déflation du garrot, l'hypercapnie augmente le débit sanguin cérébral et l'hypotension le diminue si elle dépasse les limites de l'autorégulation cérébrale [1,4]. Les conséquences de ces phénomènes combinés restent à préciser.

Nouvelles voies thérapeutiques des lésions d'ischémie–reperfusion

De nouveaux traitements ont été proposés (mais ne sont pas encore appliqués en routine) pour prévenir ou diminuer les effets de l'IR. Une ischémie de préconditionnement, définie comme une courte période d'ischémie suivie d'une reperfusion tissulaire, peut diminuer les effets systémiques de l'IR après l'utilisation du GP sur les membres supérieurs ou inférieurs [44]. Ce préconditionnement ischémique des membres peut également avoir un effet anti-inflammatoire sur des organes distants [1,4]. Un pré- ou post-conditionnement peut être appliqué sur le membre controlatéral avec un effet significatif sur la dysfonction de l'endothélium vasculaire.

Les antioxydants auraient un effet de cytoprotection qui peut être attribué à l'inhibition de l'activation de l'adhérence des neutrophiles et le piégeage de radicaux superoxydes. Chez l'homme, l'inhalation d'oxyde nitrique (NO) avant, pendant et après l'application du GP diminue l'inflammation dans les membres inférieurs. L'hème oxygénase catalyse la dégradation de l'hème en fer, bilirubine, IXa et monoxide de carbone, ce qui pourrait être bénéfique car le monoxide de carbone a une action similaire au NO. L'administration d'un inhibiteur de la xanthine oxydase (allopurinol) endothéliale ou des antiradicaux libres comme la vitamine E peut diminuer le stress oxydatif et l'apparition d'œdème post-ischémique dans le muscle squelettique [1,4]. Pour diminuer les lésions microvasculaires de reperfusion après l'ischémie induite par le GP dans le muscle strié, le buflomédil ou le flurbiprofène peuvent aussi être utilisés.

Une hypothermie locale peut être obtenue par glaçage afin de diminuer la demande métabolique et donc de diminuer l'ischémie et la dégénération anoxique, mais si cela pourrait être efficace pendant la période d'ischémie [1,4], cette hypothermie locale peut également aggraver les lésions de reperfusion.

Conclusion

Le GP est utile à la réalisation du geste chirurgical mais n'est pas dénué d'effets secondaires. L'indication principale de la pose de GP n'est pas le contrôle de l'hémostase mais l'obtention d'un champ opératoire exsangue le temps de l'intervention. La littérature mentionne des contre-indications (CI) relatives à l'utilisation du GP telles qu'une athérosclérose sévère, le diabète avec des lésions neurologiques, la drépanocytose et une co-morbidité cérébrale sévère. L'existence d'une TVP clinique ou échographique, une polyarthrite rhumatoïde avancée, des maladies vasculaires liées au collagène associées à une vascularite, une localisation tumorale dans le membre opéré sont aussi des CI relatives.

Pour minimiser les effets secondaires, le GP doit être placé le plus distal possible. La pression d'occlusion artérielle doit être établie et le GP doit être gonflé en fonction, à la pression la plus basse possible. La durée d'utilisation du GP devrait, dans l'idéal, être de moins d'une heure. Des périodes de reperfusion peuvent être proposées à partir de 45–60 min d'ischémie mais pas après une ischémie prolongée de plus de 90 min. Pour garder une durée d'ischémie la plus courte possible et permettre une meilleure hémostase, il est préférable de dégonfler le garrot avant la fermeture chirurgicale. Après la déflation du garrot, le membre doit être surveillé régulièrement. Un pansement pas trop compressif et une attelle transitoire plutôt qu'un plâtre doivent être utilisés lors des 2 premiers jours postopératoires pour permettre cette surveillance et laisser passer la phase d'œdème.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

- [1] Estebe JP, Davies J, Richebe P. The pneumatic tourniquet: mechanical, ischaemia–reperfusion and systemic effects. *Eur J Anaesth* 2011;28:404–11.
- [2] Alcelik I, Pollock RD, Sukeik M, et al. A comparison of outcomes with or without a tourniquet in total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Arthroplasty* 2012;27:331–40.
- [3] Zhang W, Chen S, Tan Y, Al-Aidaros M, et al. The effects of a tourniquet used in total knee arthroplasty: a meta-analysis. *J Orthop Surg Res* 2014;9:13, <http://dx.doi.org/10.1186/1749-799X-9-13>.
- [4] Estebe JP. The pneumatic tourniquet. In: *Surgical techniques in orthopaedics and traumatology (EFORT)*. Ed Elsevier; 2002 [55-010-B-20].
- [5] Brin YS, Feldman V, Gal IR, et al. The sterile elastic exsanguination tourniquet vs. the pneumatic tourniquet for total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2015;30:595–9.
- [6] Younger AS, McEwen JA, Inkpen K. Wide contoured thigh cuffs and automated limb occlusion measurement allow lower tourniquet pressures. *Clin Orthop Relat Res* 2004;428:286–93.
- [7] Graham B, Breault MJ, McEwen JA, et al. Occlusion of arterial flow in the extremities at subsystolic pressures through the use of wide tourniquet cuffs. *Clin Orthop Relat Res* 1993;286:257–61.
- [8] Reilly CW, McEwen JA, Leveille L, et al. Minimizing tourniquet pressure in paediatric anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a blinded, prospective randomized controlled trial. *J Pediatr Orthop* 2009;29:275–80.
- [9] Ishii Y, Noguchi H, Takeda M, et al. A new tourniquet system that determines pressures in synchrony with systolic blood pressure in knee surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2009;17:48–52.
- [10] Tuncali B, Karci A, Tuncali BE, et al. A new method for estimating arterial occlusion pressure in optimizing pneumatic tourniquet inflation pressure. *Anesth Analg* 2006;102:1752–7.
- [11] Estebe JP, Le Naoures A, Chemaly L, et al. Tourniquet pain in a volunteer study: effect of changes in cuff width and pressure. *Anaesthesia* 2000;55:21–6.
- [12] Mittal P, Shenoy S, Sandhu J. Effect of different cuff widths on the motor nerve conduction of the median nerve: an experimental study. *J Orthop Surg Res* 2008;9:3 [1].
- [13] Mittal P, Shenoy S, Sandhu JS. Effect of different cuff widths on the motor nerve conduction of the median nerve: an experimental study. *J Orthop Surg Res* 2008;3:1, <http://dx.doi.org/10.1186/1749-799X-3-1>.
- [14] Olivecrona C, Ponzer S, Hamberg P, Blomfeldt R. Lower tourniquet cuff pressure reduces postoperative wound complications after total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 2012;94:2216–21.
- [15] Butt U, Ahmad B, Aspros D, Bannister GC. Factors affecting wound ooze in total knee replacement. *Ann R Coll Engl* 2011;93:54–6.
- [16] Thompson SM, Middleton M, Farook M, Cameron-Smith A, Bone S, Hassan A. The effect of sterile versus non-sterile tourniquets on microbiological colonization in lower limb surgery. *Ann R Coll Surg Engl* 2011;93:589–90.
- [17] Horlocker TT, Hebl JR, Gali B, et al. Anesthetic, patient, and surgical risk factors for neurologic complications after prolonged total tourniquet time during total knee arthroplasty. *Anesth Analg* 2006;102:950–5.
- [18] Ikemoto T, Tani T, Taniguchi S, et al. Effects of experimental focal compression on excitability of human median motor axons. *Clin Neurophysiol* 2009;120:342–7.
- [19] Schlee G, Milani TL, Sterzing T, et al. Short-time lower leg ischemia reduces plantar foot sensitivity. *Neurosci Lett* 2009;462:286–8.
- [20] Kokki H, Väätäinen U, Miettinen H, et al. Tourniquet-induced changes in arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of low and high-pressure tourniquet systems. *Ann Chir Gynaecol* 2000;89:313–7.
- [21] Prodhomme G, Mouraux D, Dugailly PM, et al. Tolerance of upper extremity pneumatic tourniquets and their effect on grip strength. *J Hand Surg Eur Vol* 2008;33:266–71.
- [22] Sherma OH, Fox JM, Snyder SJ, et al. Arthroscopy "no-problem surgery". An analysis of complications in two thousand six hundred and forty cases. *J Bone Joint Surg Am* 1986;68:256–65.
- [23] Zhang W, Hu D, Tan Y, et al. Effects of the timing of tourniquet release in cemented total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Orthop Surg Res* 2014;9:125.
- [24] Zan PF, Yang Y, Fu D, et al. Releasing of tourniquet before wound closure or not in total knee arthroplasty: a meta-analysis of randomized controlled trials. *J Arthroplasty* 2015;30:31–7.
- [25] Brennan SA, Walls RJ, Smyth E, et al. Tourniquets and exsanguinators; a potential source of infection in the orthopedic operating theater? *Acta Orthop* 2009;80:251–5.
- [26] Soriano A, Bori G, Garcia-Ramiro S, et al. Timing of antibiotic prophylaxis for primary total knee arthroplasty performed during ischemia. *Clin Infect Dis* 2008;46:1009–14.
- [27] Sheth NP, Sennett B, Berns JS. Rhabdomyolysis and acute renal failure following arthroscopic knee surgery in a college

- football player taking creatine supplements. *Clin Nephrol* 2006;65:134–7.
- [28] Lee YG, Park W, Kim SH, et al. A case of rhabdomyolysis with use of a pneumatic tourniquet during arthroscopic knee surgery. *Kor J Int Med* 2010;25:105–9.
- [29] Wakankar HM, Nicholl JE, Koka R, et al. The tourniquet in total knee arthroplasty: a prospective randomised study. *J Bone Joint Surg Br* 1999;81:30–3.
- [30] Worland RL, Arrebondo J, Angles F, et al. Thigh pain following tourniquet application in simultaneous bilateral knee replacement arthroplasty. *J Arthroplasty* 1997;12:848–52.
- [31] Kim MH, Nahm FS, Kim TK, et al. Comparison of postoperative pain in the first and second knee in staged bilateral total knee arthroplasty: clinical evidence of enhanced pain sensitivity after surgical injury. *Pain* 2014;155:22–7.
- [32] Demers C, Marcoux S, Ginsberg JS, et al. Incidence of venographically proved deep vein thrombosis after knee arthroscopy. *Arch Intern Med* 1998;158:47–50.
- [33] Dungey AA, Badhwar A, Bihari A, et al. Role of heme oxygenase in the protection afforded skeletal muscle during ischemic tolerance. *Microcirculation* 2006;13:71–9.
- [34] Loukogeorgakis SP, Williams R, Panagiotidou AT, et al. Transient limb ischemia induces remote preconditioning and remote postconditioning in humans by a K(ATP)-channel dependant mechanism. *Circulation* 2007;116:1386–95.
- [35] Kanoria S, Jalan R, Davies NA, et al. Remote ischaemic preconditioning of the hind limb reduces experimental liver warm ischaemia-reperfusion injury. *Br J Surg* 2006;93:762–8.
- [36] Nishiguchi M, Takamura N, Abe Y, et al. Pilot study on the use of tourniquet: a risk factor for pulmonary thromboembolism after total knee arthroplasty. *Thromb Res* 2005;115:271–6.
- [37] Jules-Elysee K, Blanck T, Catravas J, et al. Angiotensin-converting enzyme activity: a novel way of assessing pulmonary changes during total knee arthroplasty. *Anesth Analg* 2004;99:1018–22.
- [38] Reikeras O, Clementsen T. Thrombosis markers in hip versus knee arthroplasty: a pilot study. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 2009;17:291–5.
- [39] Watanabe H, Kikkawa I, Madoiwa S, et al. Changes in blood coagulation-fibrinolysis markers by pneumatic tourniquet during total knee joint arthroplasty with venous thromboembolism. *J Arthroplasty* 2014;29:569–73.
- [40] Estebe JP, Le Corre P, Levron JC, et al. Pilot study on the effect of tourniquet on sufentanil pharmacokinetics. *J Clin Anesth* 2002;14:578–83.
- [41] Shimogai M, Iranami H, Yamazaki A, et al. Transient but profound reduction of bispectral index values after tourniquet deflation: did the BIS detect an alteration of brain electrocortical activity? *Anesth Analg* 2006;103:1613–4.
- [42] Gupta K, Aggarwal N, Rao M, et al. Re-emphasizing the importance of tourniquet time: severe myocardial depression following tourniquet deflation. *Acta Anaesthesiol Scand* 2008;52:873.
- [43] Bharti N, Mahajan S. Massive pulmonary embolism leading to cardiac arrest after deflation following lower limb surgery. *Anaesth Intensive Care* 2009;37:867–8.
- [44] Van M, Olguner C, Koca U, et al. Ischaemic preconditioning attenuates haemodynamic response and lipid peroxidation in lower-extremity surgery with unilateral pneumatic tourniquet application: a clinical pilot study. *Adv Ther* 2008;25:355–66.