

Appel à mettre à Jour
l'enseignement, les recommandations de pratique,
et la définition d'un garrot chirurgical

Correspondance avec les auteurs

Professeur Pierre Bourquelot, Professeur Bernard Levy, Docteur Olivier Galland, Professeur Eric
Vandenbussche, Sidney Azoulay

Sidney Azoulay

sidney.azoulay@orange.fr

57 Rue Crillon, 69006 LYON

Mobile : + 33 (0)6 46 66 15 15

Le 15/11/ 2022,

A l'attention des sociétés savantes concernées : la SOFCOT pour les chirurgiens orthopédistes et de la SCVE pour les chirurgiens vasculaires, de la SFAR pour les médecins anesthésistes, la SOFERIBO pour les Infirmières de bloc opératoire, l'AFIB pour les ingénieurs biomédicaux, et des autorités sanitaires compétentes, l'ANSM, la HAS, la DGS.

Il convient de rappeler qu'il n'existe aucune recommandation officielle émise par les sociétés savantes des chirurgiens utilisateurs de garrots chirurgicaux.

Les seules recommandations officielles viennent de AST, (Association of Surgical Technologist) et AORN (Association of peri Opérative Registered Nurses), aux USA.

Elles sont répétées dans divers manuels (Ex - The Tourniquet Manual - Principles and Practice par Leslie Klenerman, Springer) et dans toutes les publications qui reprennent les mêmes sources : en résumé il faut un manchon large pour obtenir une pression d'occlusion basse pour tous en théorie, et uniforme dans les tissus en pratique pour toute occlusion réussie...

Il est souhaitable de mettre à jour « notre » guideline, par la prise en compte de données absentes jusqu'à présent, de la plupart de nos analyses en la matière.

L'accès à ces données, et les améliorations offertes en pratique, nous invitent à revoir quelques principes qui font loi dans l'enseignement au sujet du garrot chirurgical.



Fig. 1- Une « pression » sur l'artère sur une section courte de quelques mm suffit pour bloquer le flux sanguin.

La définition d'un garrot chirurgical à ce jour est celle « *d'un dispositif médical compressif de classe 1, qui sait appliquer la pression la plus faible pour interrompre le flux sanguin avec un manchon le plus large possible* ».

En vertu d'un sage principe en médecine, 2 valeurs accompagnent toujours le bon usage/dosage d'un principe actif sur le vivant : la concentration et la dose elle-même, à considérer avec la durée du traitement.



Quelle que soit notre spécialité, nous aimons à les réduire au minimum utile.

Si le terme « chirurgical » en dehors de son contexte médical, est l'expression sémantique d'une précision extrême, le « *garrot pneumatique* » n'offre pas la précision attendue d'un garrot « chirurgical » dans tous les sens du terme.

Il nous renseigne sur sa pression de gonflage, la mesure relative de sa compression(-ischémique), analogue de la « concentration », mais il ne connaît pas, il ne contrôle pas sa force de compression, sa mesure absolue, à considérer avec la durée d'exposition, analogue de la « dose » : il convient de déterminer le bon dosage de la compression tout aussi rigoureusement.

La pression de gonflage des garrots est utilisée par défaut comme unique moyen de contrôle de la compression et par voie de conséquence pour nos « guidelines » pour 3 raisons :

- **L'objectif** : occlure une circulation sanguine dont le débit se mesure en pression, il faudra appliquer une pression supérieure à la TA.
- **L'origine historique de son absence de contrôle** : « l'inventeur » du « *garrot pneumatique* » Harvey Cushing neuro- chirurgien avait détourné en 1904, sans adaptation sur le contrôle de la compression, un Tensiomètre en « garrot chirurgical ».
- **La version électronique du «tensiomètre-garrot» n'a pas non plus (James Mc Ewen dans les années 1960) adapté le design de contrôle/limitation de la compression, « la dose », malgré sa durée d'utilisation jusqu'à 120 mn renouvelable bien plus longue que celle d'un tensiomètre (quelques secondes), et son régime de pression augmenté lui aussi, jusqu' à 2 fois plus fort.**

| | | |
|---|---|---|
| |  |  |
| Indication / Mode / Principe Actif | Mesure TA Pression de gonflage = TA Compression ischémique Bras | Occlure Pression de gonflage > TA Compression ischémique Membres / Extrémités inférieurs et supérieurs |
| Pression | = TA 130 mmHg à 190 mmHg | = TA + n variable = 250 mmHg ou = 350 mmHg |
| Contrôle de l'acte cible et de la Force appliquée | Pression oui (cible) Force Non, Inutile (Durée, Impact) | Pression oui (cible) <u>Force Non bien qu'essentiel</u> (Durée, Impact) |
| Force appliquée | - | ? |
| Durée de l'acte max | ~ 0 (5 secondes?) | < 90 à 120 minutes (renouvelable) |
| Classe du dispositif Quantité d'Énergie transférée | Classe 1 Négligeable/ Durée | Classe 1 ? Sensible / Durée 100 % des effets |
| Impacts / Complications | 0 0 | Nombreux variables / Statistiques, Variées/ |

**Fig. 2- Tableau Comparatif Indication versus Paramètres
Entre un tensiomètre et un « garrot pneumatique » électronique.**

Notre appel est motivé et appuyé par les résultats *a priori* surprenants, d'un dispositif médical exsanguinant, le HemaClear, qui installe un garrot « chirurgical » stérile à usage unique et autonome.

Très étroit de 10 mm à 20 mm selon les modèles, il contredit clairement l'enseignement et il a prouvé sur près de 1.8 M de procédures, que c'était pertinent, en termes de sécurité du patient et de résultat.

La mise en place du garrot fait d'abord l'exsanguination totale du membre en déroulant son jersey depuis l'extrémité, jusqu'au site d'occlusion avec des poignets- tirettes.

Enfin il est peu compressif et sur un segment tellement court, si bien qu'il préserve la mobilité des membres et des extrémités du patient à 100 % (en actif et passif), tout en bloquant le flux sanguin.

Les paramètres de ce nouveau garrot facilitent les procédures courtes en chirurgie des extrémités praticables en cabinet ou salle d'opération simplifiée, procédures dites « patient réveillé », et en ambulatoire.



Fig. 3- Chirurgie HemaClear Exsangue Patient Réveillé Ambulatoire

1- La pression :

Le tensiomètre de Riva-Rocci & la distribution de la pression

C'est dans les années 1890 que le tensiomètre devint facile à utiliser grâce à l'emploi par Riva-Rocci d'un manchon gonflable encerclant le bras et relié à un manomètre à mercure.

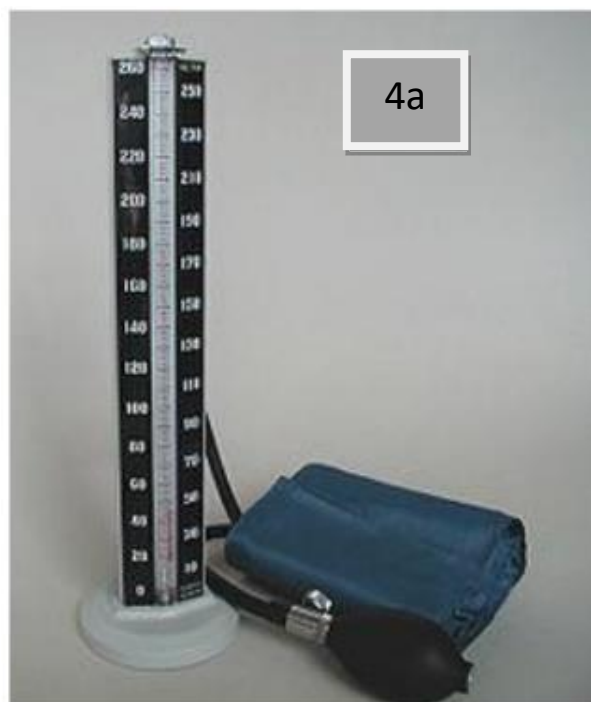
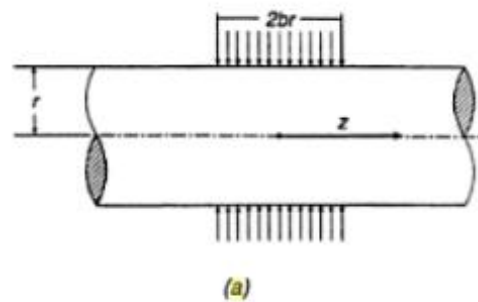
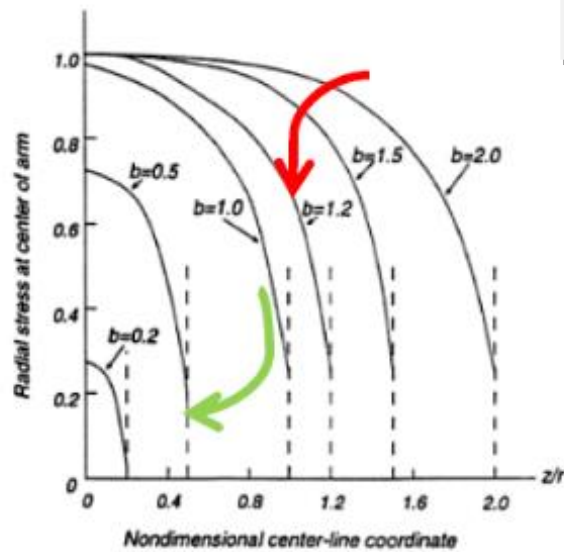


Fig.4a (http://en.wikipedia.org/wiki/scipione_riva-rocci)



(a)



(b)

Figure 2.45 (a) simplified model of the arm (A), and calculated radial stress distribution at the arm axis (b). (From Alexander, H. et al., *Med. Biol. Eng. Comput.*, 15, 2, 1977. With permission.)

Fig. 4b - Radial stress at the arm axis under an occluding cuff

Alexander H, Cohen ML, Steinfeld L.

“Criteria in the choice of an occluding cuff for the indirect measurement of blood pressure”.

Med Biol Eng Comput. 1977 Jan;15(1):2-10. doi: 10.1007/BF02441568.PMID: 194119.

Déjà en 1977, Alexander et al. ont calculé le champ de pression dans un modèle de membre sous une manchette compressive et ont déterminé que pour que la pression à l'intérieur du membre au centre soit égale à 100 % de la pression de gonflage du brassard appliquée sur la peau, la largeur du manchon doit être au moins **1,2 fois plus grande que le diamètre du membre** (figure 4b).

C'est la condition pour une mesure exacte de la pression artérielle par la méthode Riva-Rocci (flèche rouge).

Cependant, si le garrot est plus étroit, par exemple 50% du diamètre du membre (flèche verte), la pression tissulaire au milieu du garrot sera dégradée de 25%, soit égale à 75% de la pression de gonflage appliquée en surface (Flèche verte).

4b

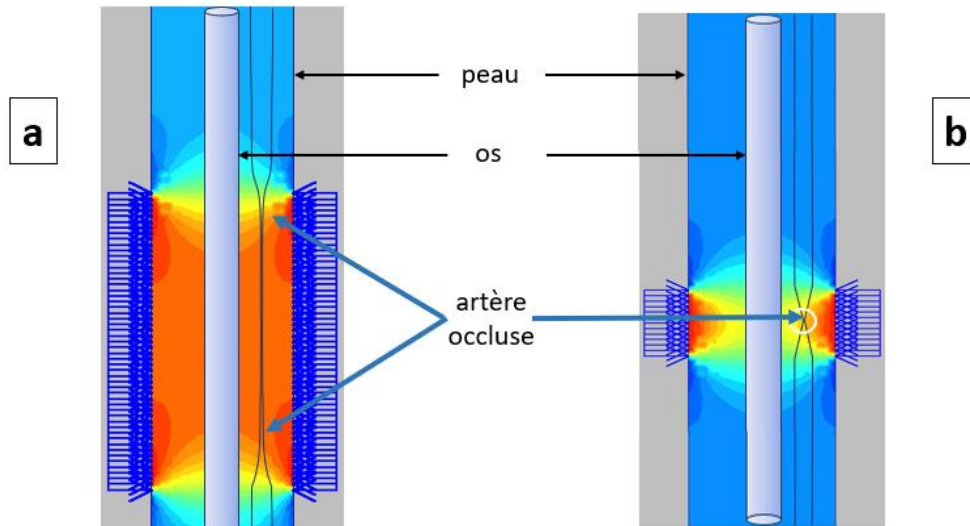


Fig. 5 - Distribution de la Pression à l'intérieur d'un cylindre selon la largeur du manchon
 a): large-pneumatique, (b) : garrot élastique étroit HemaClear

Un manchon large est adapté pour une mesure de quelques secondes, et donc un niveau de pression équivalent à la tension artérielle, mais pour interrompre le flux sanguin jusqu'à 120 mn, avec des pressions d'occlusion nécessairement supérieures aux tensions artérielles, sur les vaisseaux et les tissus ?

La lésion nerveuse est une des complications les plus redoutées (et ses effets à long terme) après usage d'un « tensiomètre-garrot » en chirurgie, elle se produit lorsqu'il y a **une frontière absolue** sans dégradation de la pression dans les tissus (Fig. 4), entre les régions soumises ou non à une telle pression.

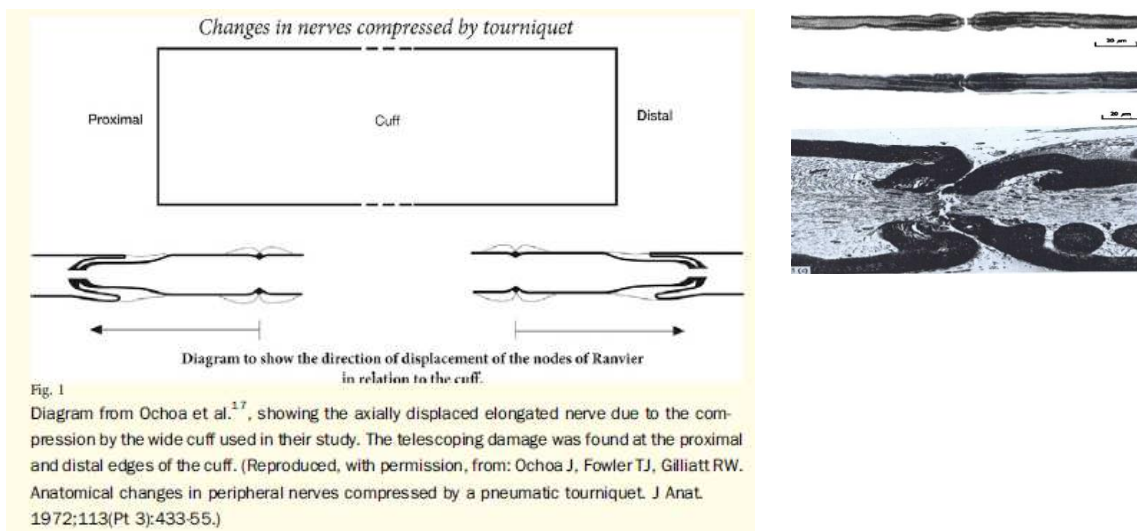


Fig.6 Ochoa et al. 1972 Télescopage des fibres nerveuses étirées par une compression 4 jours plus tôt, observé aux deux extrémités du garrot.

(Ochoa J, Fowler TJ and Gilliat RW. Anatomical changes in peripheral nerves compressed by a pneumatic tourniquet J Anat (1972) 113, 3, 433-455.)

Plus récemment en 2008 des altérations du nerf observées à distance de la procédure dans une fréquence notable.

(D. Fletcher Douleurs neuropathiques post opératoires Doi : 10.1016/S1624-5687(07)73112-8 - Service d'Anesthésie Réanimation, Hôpital Raymond Poincaré, 104 Boulevard Raymond Poincaré, Garches)

« Résumé : Incidence de la douleur neuropathique en post-opératoire

La douleur chronique postopératoire a une incidence sous-évaluée... Une étude prospective descriptive sur 300 patients de chirurgie générale (orthopédie, viscéral, vasculaire) à permis d'observer une incidence globale de la **douleur chronique post chirurgicale de 30 % à 1 et 3 mois**la composante neuropathique était peu présente en postopératoire immédiat mais apparaissait avec une fréquence stable de 50 % à 1 et 3 mois après la chirurgie. Les facteurs de risque de douleur chronique neuropathique postopératoire étaient l'utilisation de morphiniques en préopératoire et le garrot en peropératoire... »

Avec l'utilisation massive du « garrot pneumatique », la Pression était devenue par défaut la mesure de référence, (**du dossier patient et des analyses aussi**) au détriment de la force totale appliquée sur le patient.

C'est ce qui nous imposait d'agrandir la surface de compression, et de créer cette frontière pour le nerf de part et d'autre du manchon, en totale contradiction avec l'enseignement rapporté ci-dessous.

Nous rappellerons d'abord la définition académique de la compression sur le vivant, suivie d'une relecture biomécanique qui s'impose, des observations cliniques traditionnellement décrites jusqu'ici.

Ainsi nous pourrions relire la liste des effets statistiques et variés dudit «garrot pneumatique », comme les étapes d'une seule et même condition clinique.

2- Définition académique de la compression sur le vivant

COMPRESSION

571

COMPRESSION, s. f., *compressio* ; action mécanique qui tend à rapprocher les molécules d'un corps, à augmenter sa densité, et à rendre son volume moins considérable.

La compression produit les effets les plus variés sur les tissus vivans. Elle y détermine des changemens de texture et des altérations vitales qui varient suivant sa force, suivant l'étendue des surfaces affaissées, et suivant que les organes sur lesquels elle agit sont dans l'état sain, ou que leurs fonctions sont altérées par quelque maladie. Une compression violente exercée sur la peau suspend la circulation dans son réseau capillaire, lui fait perdre sa couleur, et détermine bientôt une douleur vive, un engourdissement insupportable.

La valeur de la pression appliquée est utile, cela ne fait pas débat, mais chercher à limiter ou comprendre les effets d'un dispositif compressif sans prendre en compte la force appliquée sur le patient, relativise sensiblement une bonne partie de la littérature sur les garrots. Des recommandations de pratique émises dans les seules valeurs de pression mmHg, sont incomplètes par défaut, et déroutantes lorsque le garrot est « trop large ».

En effet, cela nous imposait, pour occlure une artère large de 10 mm, d'écraser un volume de tissus inutile, avec une force disproportionnée et hors de contrôle.

Un papier (français) a récemment rappelé la force des garrots et a été publié en 2016 dans Journal of Vascular Access : *Narrow elastic disposable tourniquet (Hemaclear®) vs. traditional wide pneumatic tourniquet for creation or revision of hemodialysis angioaccesses . J Vasc Access. 2016;17(3):205.P Bourquelot (CMC A. Paré, Neuilly/Seine) et BI Levy (Institut du Sang et des vaisseaux, INSERM U970, Hôpital Lariboisière, Paris).*

3- La Force appliquée et la durée d'exposition : la dose de compression

Les largeurs recommandées du manchon d'un « garrot pneumatique » sont variables en théorie et en pratique :

- Diamètre du membre + 20%
- Ou 0.3 x jusqu'à 0.4 x la circonférence du membre,
- Ou de 12 - 14 cm pour le bras et 18 - 20 cm pour la jambe.

En France on verra plutôt 9 cm – 11 cm pour un bras et 13 cm – 18 cm pour une jambe adulte moyenne, voire plus pour des patients très larges.

La valeur approximative de 1 mmHg = 1,34 g/cm².

Il apparaît que les forces employées sur le patient à l'aide du « tensiomètre-garrot » peuvent atteindre des valeurs jusqu'au multiple X 3 à X 5 du propre poids total du patient :

- **60 Kg à 130 Kg** sur un bras (mince à large) ou une extrémité supérieure/inférieure
 - **250 Kg à + 600 Kg** sur une cuisse (mince à large)
- ...selon la taille/forme des membres, largeur du garrot et pression de gonflage.

Et des écarts surprenants entre les patients, 50 kg, 100 kg, 150 kg de plus avec moins de pression d'un patient à l'autre, ou inversement : comment enseigner les causes d'une complication si nous ignorons ces écarts ?

Alors même que la pression appliquée la plus faible était considérée comme la plus sûre ?

C'est parce que la force totale sera bien plus impactée par la valeur de la surface, que par celle de la pression avec un garrot trop large :

- Les régimes de pression en pratique varient de 200 mmHg à 350 mmHg, soit de 276 g/cm² à 483 g/cm²
- La surface elle, peut varier (sur la jambe) de 600 cm² à + de 2 400 cm² selon la largeur de la cuisse, un rapport de 1 à 4 environ

Compte tenu de la force classiquement employée mise à jour, il convient de faire une relecture des effets connus, de leurs mécanismes et de comparer avec ceux du HemaClear.

Mécanismes de la compression pneumatique *in vivo* ou désormais pour faire simple,

Que se passe-t-il si on écrase une cuisse sur 15 cm avec 250 Kg, 300 Kg ? pendant 1H ou plus 2h ? :

Nous savons les effets statistiques du « *garrot pneumatique* », une liste répétée dans tous les papiers sur le sujet, des complications locales et systémiques variées et rangées classiquement selon leur emplacement, gravité, ou leurs conséquences dans l'organisme.

On interroge aussi souvent dans la littérature eu égard à la variété des effets : quid de la compression ou de l'ischémie est le plus délétère ?

L'ischémie reperfusion peut s'auto- alimenter, quand la compression externe *a priori* est une phase unique avec un début et une fin.

La phase d'ischémie-reperfusion à la levée de garrot (ou après un Crush syndrome accidentel), est bien la phase la plus délétère, la plus à risque de désordres plus critiques : hémodynamiques, cardiovasculaires, pulmonaires, cerveau.

Mais ce sont les conditions de la compression ischémique, qui seront prédéterminant :

La zone, la surface / le volume de tissus et la longueur de vaisseaux concernés, la force totale et la durée d'exposition.

Pourquoi ?

Parce que c'est la compression qui fait l'ischémie et que les conditions de la reperfusion dépendent de la qualité des tissus ischémisés, **selon qu'ils ont conservé leur élasticité, ou non.**

Le paragraphe précédent décrit, ni plus ni moins, les étapes d'un seul et même déroulé clinique :

Utiliser un « tensiomètre-garrot » en chirurgie revient à déclencher le processus d'un véritable «Crush-syndrome » assisté médicalement et limité dans le temps, sans toutefois connaître la compression utilisée pour provoquer l'ischémie.

« *Le crush syndrome se définit comme l'ensemble des manifestations locales et générales secondaires à une rhabdomyolyse traumatique avec ischémie de grosses masses musculaires par compression prolongée, à l'origine d'un syndrome compartimental ou syndrome des loges.* »
Hemou PF, Sama HD, Tchétikè P, Potkar T. Crush syndrome chez l'adulte et problématique de sa prise en charge à la phase aiguë. *Ann Burns Fire Disasters.* 2015 Dec 31;28(4):275-279. French. PMID: 27777548; PMCID: PMC5068896.

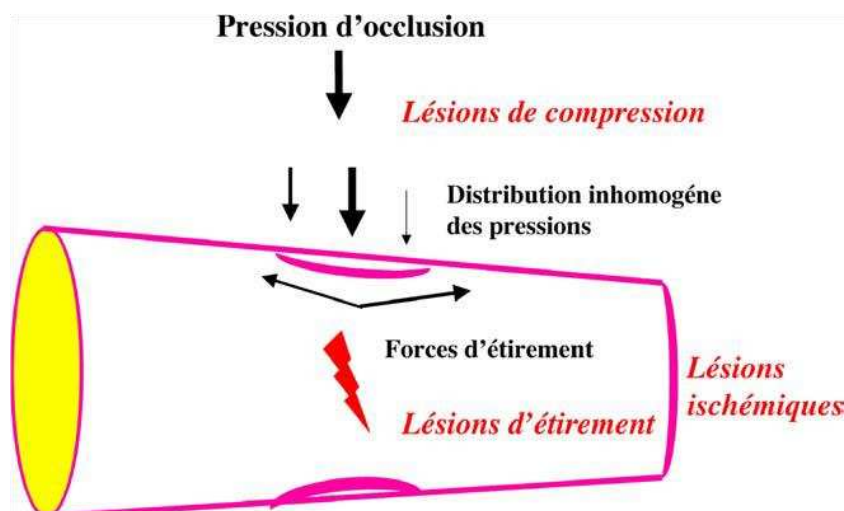


Fig.7 - Estebe JP.
Schéma des lésions dues au garrot.

« Les lésions d'ischémie, de compression et d'étirement feront plus souffrir les tissus situés sous le garrot que les tissus situés en aval. » JP.Estebe

Bien que les tissus mous des membres (muscle, peau, graisse) soient élastiques et flexibles, ils ne sont pas compressibles, du moins tant qu'un seuil de résistance n'a pas été dépassé.

Quelle que soit l'atteinte compressive, les signes cliniques se justifient de la même façon : le seuil d'élasticité est dépassé, et la plasticité va augmenter avec la durée.

C'est la cause des lésions nerveuses (par élongation, puis invagination, puis lésion), de l'étirement du fascia (douleur), des blessures cutanées, et des cloques.

En fonction du niveau de plasticité atteint, le membre peut présenter une déformation provisoire, durable, voire définitive.

Déformation à < 15 mn

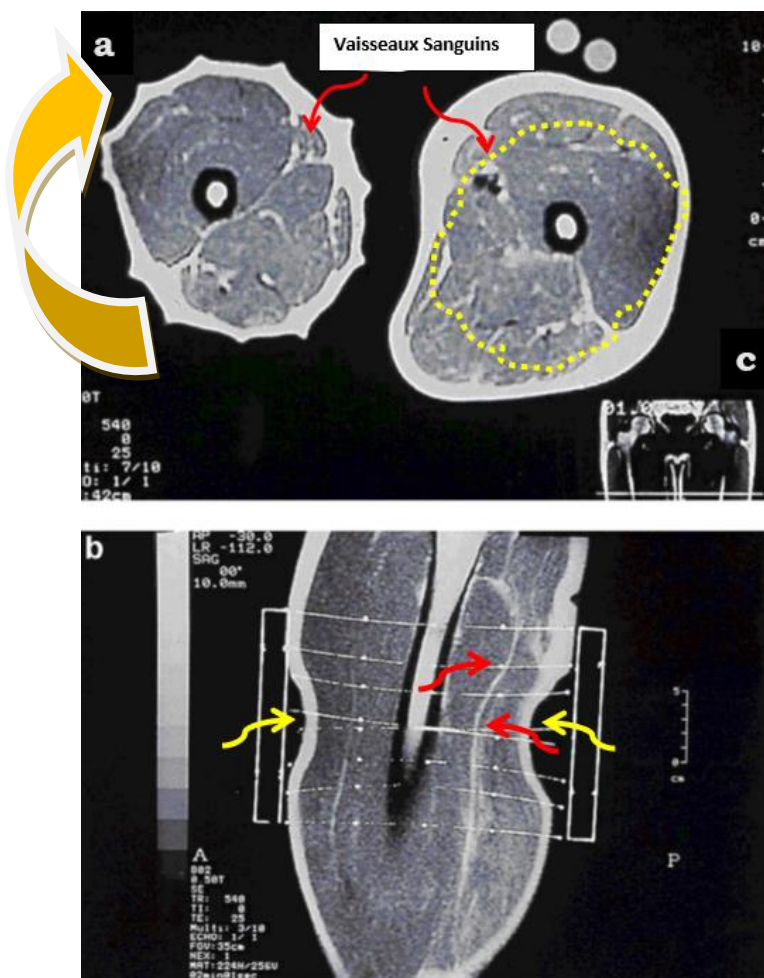


Fig. 8 - IRM-Garrot placé à la racine du membre inférieur

a : coupe transversale de membre inférieur avec *garrot pneumatique*

c : sans garrot ;

b : coupe longitudinale de la cuisse avec garrot.

« La cuisse droite (a) est comprimée par le garrot pneumatique d'orthopédie ; la souffrance du tissu cutané et sous-cutané est très clairement visible ; la cuisse gauche (c) sert de témoin. »

"The pneumatic tourniquet: mechanical, ischaemia-reperfusion and systemic effects"

Estebe JP, Davies JM and Richebe P.

Pendant le gonflage du manchon pneumatique, soit le temps de stockage de gaz suffisant et nécessaire pour obtenir la pression choisie:

la distribution d'abord inhomogène en surface par manque d'adhérence, est compensée par des

altérations cutanées et sous cutanées pour que la pression devienne homogène l'intérieur du membre.

La force se contraignant elle-même, la vitesse de la déformation va se réduire pour apparaitre comme un environnement statique : Il n'en est rien.

Tout d'abord il faut noter que la force appliquée par le « tensiomètre-garrot », est dissipative (= non conservative), elle est convertie en partie, en force de frottement, d'étirement, de torsion, de déplacement.

En conséquence, pour maintenir la pression constante, au gré des déformations, de la réduction de volume, le compresseur électronique va automatiquement ajouter et comprimer du gaz dans le manchon.

Progressivement le manchon est de moins en moins déformable, la résistance du membre a aussi un cout énergétique (avec une limite métabolique) : les tissus sous le garrot cèdent avec la durée d'exposition, alors que l'énergie pneumatique est constante.



Fig. 9 - Les plis sur les IRM de Kovar ou de Estebe, correspondent aux plis longitudinaux et aux cloques linéaires ici sur la photo d'un patient

Des dommages cutanés (flèches blanches) souvent décrites comme des brûlures attribuées aux produits chimiques utilisés pour désinfecter la peau.

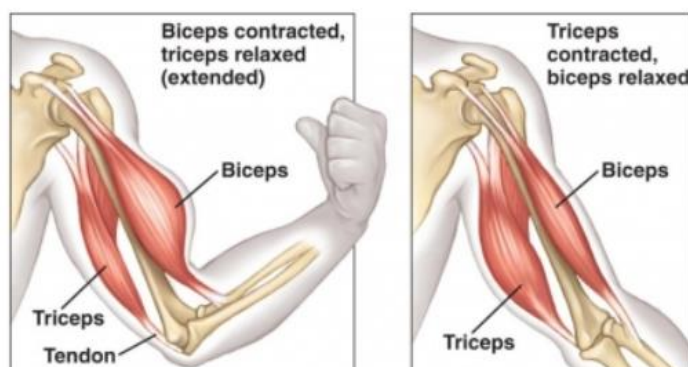
De toute évidence, la cause principale est mécanique et associée au pincement de la peau par la surface intérieure du « garrot pneumatique ». Les produits désinfectants sensibles à la chaleur et aux frottements, sont un facteur aggravant de ces effets mécaniques.

Ces agressions locales se situent aux endroits exacts où la pression n'était pas uniforme sur la peau, les nombreux plis et déformations de peau témoignent de ce phénomène.

C'est au prix de ces déformations que la pression est continuellement maintenue homogène dans les tissus à l'intérieur du membre, et on sait désormais que ce n'est pas rentable.

Il convient de rappeler que la contraction ou relaxe d'un muscle exige la relaxe ou contraction, de son muscle antagoniste, et que le nerf joue un rôle essentiel dans ce mécanisme du mouvement.

Fig.10 - Inhibition The human muscular system
([https://arts3science.wordpress.com/humanbeing/locomotor/musclesmovebones/How do muscles move bones? Contracting and relaxing](https://arts3science.wordpress.com/humanbeing/locomotor/musclesmovebones/How%20do%20muscles%20move%20bones?Contracting%20and%20relaxing))



Le syndrome des loges :

Toute condition pouvant réduire le volume du compartiment , ou augmenter la taille du contenu, peut entraîner un syndrome de compartiment aigu.

Si l'inhibition musculaire est empêchée, alors que les 2 muscles (agoniste et antagoniste, voir Fig.8) sont immobilisés par une contrainte excessive, l'espace entre les fibres est restreint des 2 cotés : on comprend alors qu'il peut y avoir un syndrome des loges primaire dès la compression. C'est ce qui nous oblige à limiter le temps d'usage du « garrot-tensiomètre » à 90 mn maximum (renouvelable avec une pause).

L'habitude étant un facteur d'adaptation automatique de nos besoins énergétiques immédiats, cette limite n'empêche pas de voir un syndrome des loges dans des délais plus courts ici immédiatement après un usage conforme du « *garrot pneumatique* » et sans répétition:

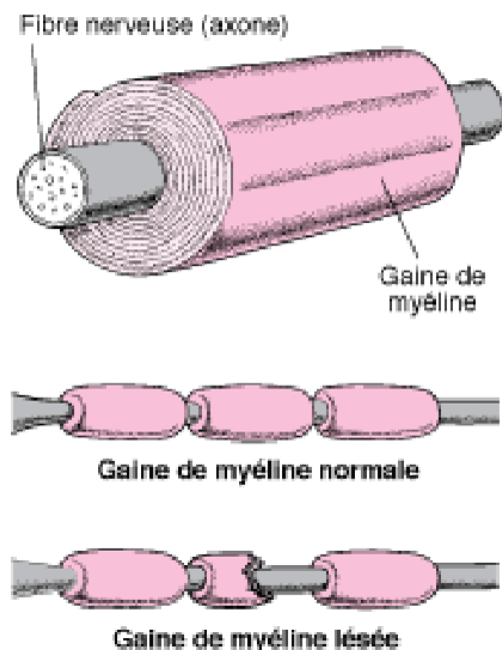
Hirvensalo E, Hanna T, Lapinsuo, Matti L, Harri H. Compartment Syndrome of the Lower Limb Caused by a Tourniquet: A Report of Two Cases. Journal of Orthopaedic Trauma: December 1992 - Volume 6 - Issue 4 - p 469-472.

Mais l'effet mécanique de la compression excessive et simultanée des 2 muscles antagonistes du membre n'est pas la seule cause de « l'asphyxie » du muscle ou de sa perte d'élasticité.

Fig.11 - Isolation d'une fibre nerveuse (MSD).
<https://www.msmanuals.com/fr/accueil/multimedia/figure/isolation-dune-fibre-nerveuse>

La plupart des fibres nerveuses centrales ou périphériques sont enveloppées d'un tissu formé de plusieurs couches et essentiellement constitué de graisse (lipoprotéine), appelé myéline. Ces couches forment la gaine de myéline. Très semblable à la gaine isolante qui enveloppe un fil électrique, la gaine de myéline permet la conduction des signaux nerveux (impulsions électriques) le long de la fibre nerveuse, de manière rapide et efficace.

Cependant, si la gaine de myéline est lésée (démýélinisation), les nerfs ne transmettent pas correctement les impulsions électriques.



Voici une démonstration intéressante qui a évalué le retour de conduction nerveuse après maintien d'une pression stable avec seulement + 20 mmHg à + 30 mmHg au-dessus de la Tension Artérielle sur un membre supérieur pendant 15 mn, entre 2 largeurs de « tensiomètre-garrot ».

«Les deux manchons ont été gonflés à 20 à 30 mmHg respectivement au-dessus de la tension artérielle systolique, de 110 mmHg à 126 mmHg pour le manchon de 14 cm et de 140 mmHg à 166 mmHg pour celui de 7 cm et ont été maintenus gonflé pendant 15 minutes. »

Au résultat de cette expérience, la conduction nerveuse s'est avérée être plus gravement affectée par le brassard de 14 cm dont la pression était plus faible, que le brassard de 7 cm, dans un délai très court < 15 mn.

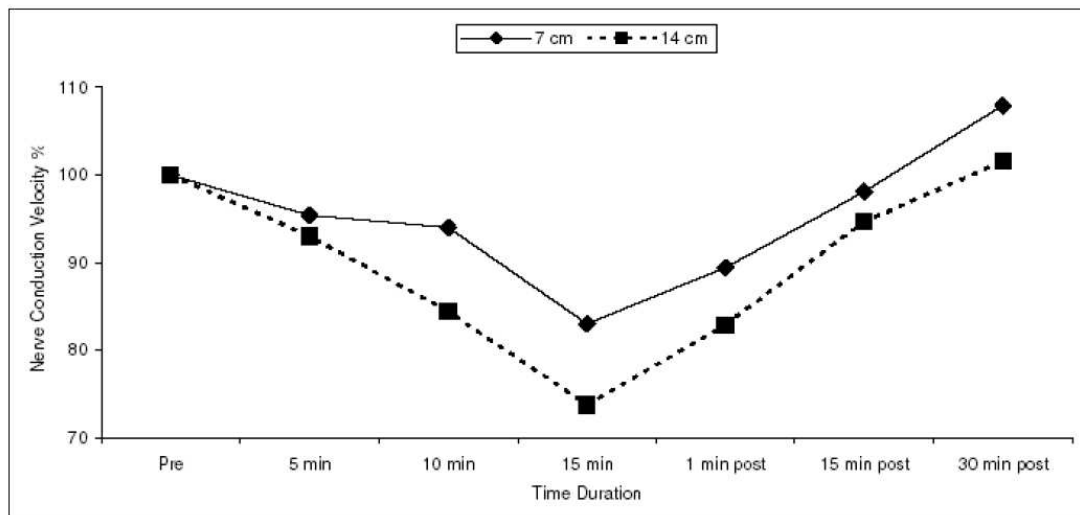


Figure 1
Mean values of the percentage MNCV at different time durations before and following the application of the 14 cm and 7 cm cuff. A decrease in MNCV is evident following application of both cuffs but as can be clearly seen that this decrease is more with the 14 cm cuff after 15 minutes of inflation of the cuff.

Fig.12 - 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 Jan 9;3:1. doi: 10.1186/1749-799X-3-1. PMID: 18182119; PMCID: PMC2235835.

« Les modifications plus graves du nerf sont causés par le manchon plus large. Cela nous amène à la conclusion que, bien que des pressions d'inflation plus faibles soient nécessaires pour l'occlusion de l'apport sanguin en utilisant des manchons plus larges, la conduction nerveuse est plus gravement affectée par les plus larges. Les changements électrophysiologiques et la pression d'occlusion doivent être gardés à l'esprit lors du choix de la largeur de la manchette. »
pour le citer.

La fonction du système nerveux est de convertir un message/ordre électrique du cerveau en message chimique au muscle squelettique, pour sa contraction ou sa relaxe.

En cas de sollicitation involontaire, reflexe, ou brutale, pour convertir l'énergie (stockée dans les fibres pour les besoins immédiats), disponible en mouvement (ici contraction ou relaxe), les fibres doivent recevoir un signal nerveux.

Cette alternative est tout simplement court-circuitée au sens propre, par une compression trop forte, et sur un segment de nerf trop long : la libération des neurotransmetteurs est altérée, voire impossible.

A la levée de garrot , l'augmentation du volume du contenu cette fois, dans des fibres de plus en plus contractées des deux muscles antagonistes, peut induire un syndrome des loges secondaire à la reperfusion, qui nous fera craindre d'autres lésions dites ischémiques (ou ischémie reperfusion) et de remplir toutes les conditions pour une rhabdomyolyse.
(Parfois même à distance de la procédure selon l'atteinte nerveuse ou neuromusculaire.)

Ici 3 semaines post opératoire, après un usage « conforme » du « *garrot pneumatique* » et sans répétition: Did Pneumatic Tourniquet Use Contribute To Post-Op Compartment Syndrome And Neuropathy ? (Poly) By Christina Sigur Long, DPM and Michael McCann, DPM- 2020.

Un phénomène qui peut s'auto-alimenter :

« L'augmentation de la pression dans une loge aponévrotique inextensible induit une ischémie musculaire et la formation d'un œdème. L'ischémie tissulaire résultante aggrave encore l'œdème ce qui forme un cercle vicieux. L'ischémie évoluant, les muscles se nécrosent, conduisant parfois à la rhabdomyolyse. Rétraction in fine après cicatrisation du tissu nécrotique.»

Source - Syndrome des loges (compartmental) Par Danielle Campagne , MD.

(<https://www.msmanuals.com/fr/professional/blessures-empoisonnement/fractures/syndrome-des-loges-compartmental>)

« En pratique, toute situation entraînant un déséquilibre entre apports et besoins métaboliques des cellules musculaires peut aboutir à une rhabdomyolyse. »

Source - Rhabdomyolyse – Crush syndrome Ségolène Mrozek, Thomas Geeraerts

(https://sofia.medicalistes.fr/spip/IMG/pdf/Rhabdomyolyse_crush_syndrome.pdf)

4- HemaClear :

De tels phénomènes ne sont pas observés sous HemaClear, il a permis d'éviter les classiques et statistiques complications observées avec le « tensiomètre-garrot », avec des régimes de pressions (concentrations) comparables à notre pratique, et parfois plus faibles.

Comment ?

- Il est étroit (10 mm à 20 mm selon le modèle), à peu près 7 à 12 fois moins large que le modèle pneumatique de référence, son design contredit franchement nos habitudes.
On préférera dire, après avoir mis à jour l'enseignement, qu'il est juste un peu plus large que l'artère cible – 10 mm .
- Il applique une force de 3 Kg à 20 Kg sur un membre ou une extrémité supérieure selon leur largeur/taille **du poignet au biceps XL**.
- Il applique une force de 6 Kg à 81 Kg pour un membre ou une extrémité inférieure selon leur largeur/taille **de la cheville à la cuisse XL**.
- Une large gamme de tailles et modèles pré-calibrés qui s'adaptent automatiquement aux mensurations du patient pour faire une compression très ciblée et sur mesure également des débits artériels (adulte et pédiatrique) : <130 mmHg, <160 mmHg, et <190mmHg.
- La Valeur de la Pression appliquée sur le membre est **dégradée de 40%** de sa valeur à l'intérieur du membre juste au-dessus de la pression artérielle et sur un très court segment de l'artère cible.
- HemaClear est utilisable jusqu'à 120 minutes (renouvelable avec une pause).

| Modèles | Choix du Modèle | | Compression appliquée | | |
|---|---|-------------------------|-------------------------------|------------------------------------|--|
| | Pression Artérielle systolique du patient | Circonférence Du membre | Force appliquée Sur le membre | Pression d'occlusion Sur le membre | Pression d'occlusion Sur l'artère et le nerf |
| HemaClear® / 28 – Rose Bébés et Petite Pédiatrie | < 130 mmHg | 14 cm - 24 cm | 2.6 Kg - 8.5 Kg | 197+/-24 mmHg | < 140 mmHg |
| HemaClear® / F – Blanc Main & Poignets | < 160 mmHg | 14 cm - 35 cm | 3.6 Kg - 13.4 Kg | 248+/-33 mmHg | < 170 mmHg |
| HemaClear® / A – Gris Pieds & Chevilles | < 160 mmHg | 22 cm - 32 cm | 4.7 Kg - 12.4 Kg | 176+/- 9 mmHg | < 180 mmHg |
| HemaClear® / 40 – Rouge Moyen | < 160 mmHg | 24 cm - 40 cm | 5.1 Kg - 16.5 Kg | 246+/-42 mmHg | < 170 mmHg |
| HemaClear® / 40 – Jaune Moyen | < 190 mmHg | 24 cm - 40 cm | 6.1 Kg - 19.7 Kg | 254+/-43 mmHg | < 200 mmHg |
| HemaClear® / 60 – Orange Large | < 160 mmHg | 40 cm - 55 cm | 18.0 Kg - 58.0 Kg | 286+/-54 mmHg | < 170 mmHg |
| HemaClear® / 60 – Brun Large | < 190 mmHg | 40 cm - 55 cm | 20.6 Kg - 61.0 Kg | 364+/-49 mmHg | < 200 mmHg |
| HemaClear® / 90 – Black & White Extra-Large | < 160 mmHg | 50 cm - 85 cm | 37.7 Kg - 80.2 Kg | 320+/-19 mmHg | < 170 mmHg |

Fig. 13-Table des modèles HemaClear pour l'adulte (Provin Medical)

Mécanismes de la compression du HemaClear *in vivo*:

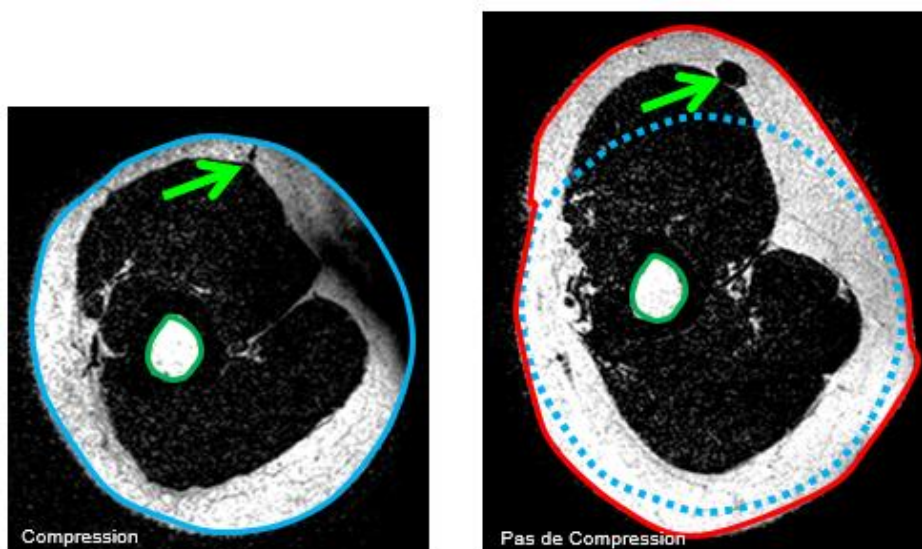


Fig.14 - Déformation (<15 mn) sous HemaClear et bras témoin sans compression

On note bien la déformation régulière circulaire, et une réduction faible du volume qui s'étend sur 10 mm sur le modèle utilisé. (Largeur du HemaClear membre supérieur adulte).

L'emplacement compte sensiblement que ce soit pour la douleur et la surface utile de compression :

Par exemple, grâce aux IRM du Pr Estebe, nous avons compris pourquoi positionner le HemaClear au tout début du muscle permet de réduire encore plus sensiblement la douleur : moins de fascia, de muscle, de tissus sous contrainte et nécessairement une force encore réduite.

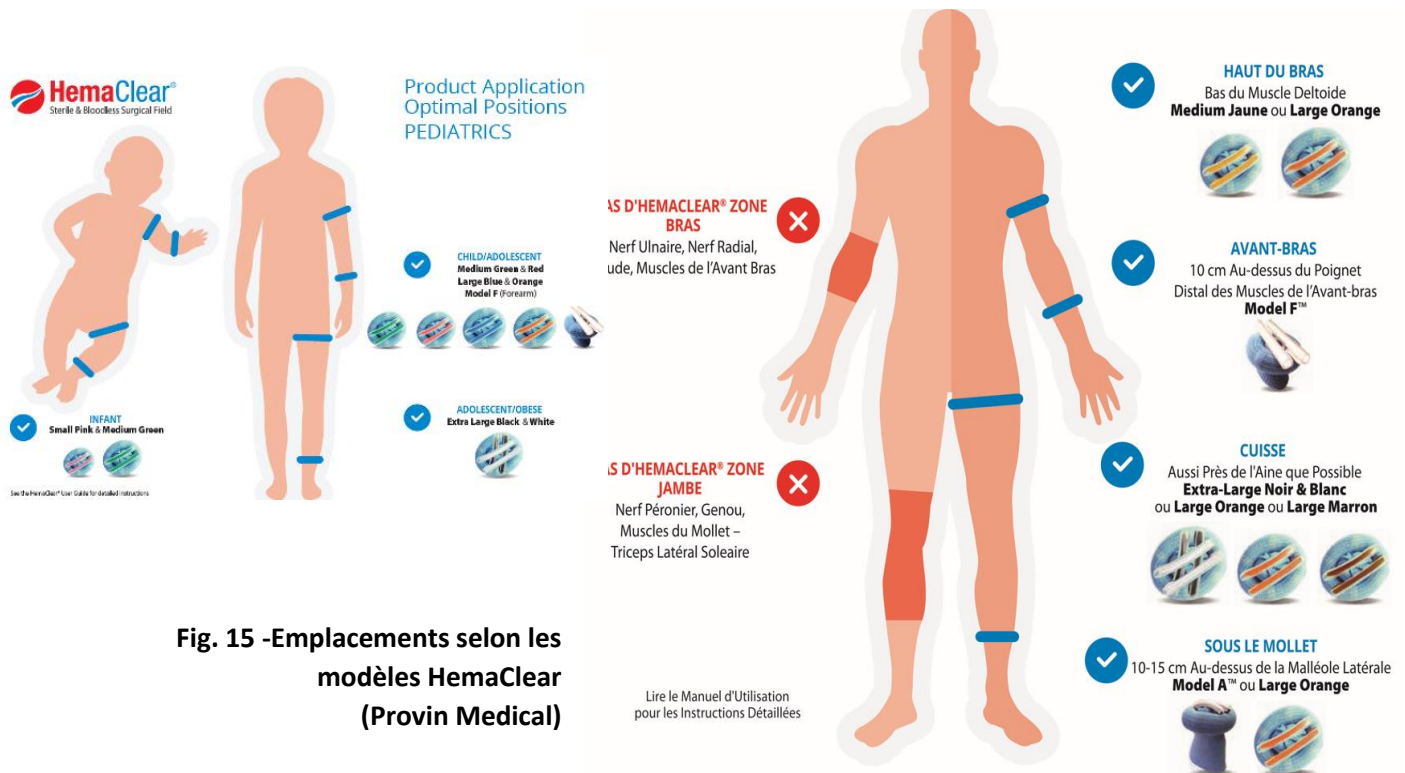


Fig. 15 -Emplacements selon les modèles HemaClear (Provin Medical)

Un autre exemple étonnant cette fois, de pouvoir occlure avec une pression jusqu'à 2 x plus basse qu'avec le «tensiomètre-garrot» pourtant 7x à 9x plus large.

C'est le cas du HemaClear Model A, pour la chirurgie du pied, large de 13 mm, il appliquera une Pression sur la peau de 176 mmHg environ, juste en dessous du muscle du mollet : la circonférence y est plus réduite, l'occlusion est de « type chirurgical », localisée et précise, ici l'artère est plus près de la peau.

Et dans ce cas, la « dose » de la compression, s'en trouvera encore plus réduite par rapport au « garrot pneumatique », jusqu' à 17 fois moins forte pour être exact, contre 10 fois moins forte environ pour les autres modèles.

La déformation du HemaClear est quasi-instantanée à l'installation.

Par opposition à l'énergie pneumatique maintenue constante, l'énergie élastique de l'anneau pré calibré du HemaClear est finie par nature, sans source de réapprovisionnement, il ne peut réduire son diamètre plus qu'à l'initial de sa forme.

Étroit le HemaClear se déforme plus que le membre pour maintenir la pression pré calibrée selon le module de Young (déformation programmée) de son garrot.

Sa force élastique est limitée par une surface de compression ciblée et très réduite.

Sa faible largeur permet aussi une adhérence complète, une pression uniforme sur la peau, dégradée en profondeur, pour une déformation régulière peu profonde et peu étendue, l'inverse en tout point du « tensiomètre-garrot ».

Sa pression (externe) est graduellement affaiblie de 30% à 50% par l'épaisseur du membre avant d'atteindre le nerf et l'artère.

En d'autres termes une fois installé, la force élastique du garrot du HemaClear semble avoir les caractéristiques d'une force conservative, sans frottements :

Une illusion offerte par la bonne résistance (physique et métabolique) du membre à une force donnée, limitée et comparable à un effort du quotidien de tout un chacun selon les dimensions du patient.

La mobilité sous HemaClear est conservée à 100 % pendant l'occlusion car la déformation du nerf n'altère pas sa fonction, et les muscles ne sont pas immobilisés.

Déformation comparée sous IRM selon la dégradation de la Pression dans les tissus :

Une autre IRM comparative empruntée à Kovar ci-dessous, présente deux bras en A et C, respectivement mis sous un «tensiomètre-garrot» en bas à gauche B, et sous un garrot élastique étroit HemaClear en bas à droite D, confirmant que les tissus vasculaires et nerveux sont peu compressibles.

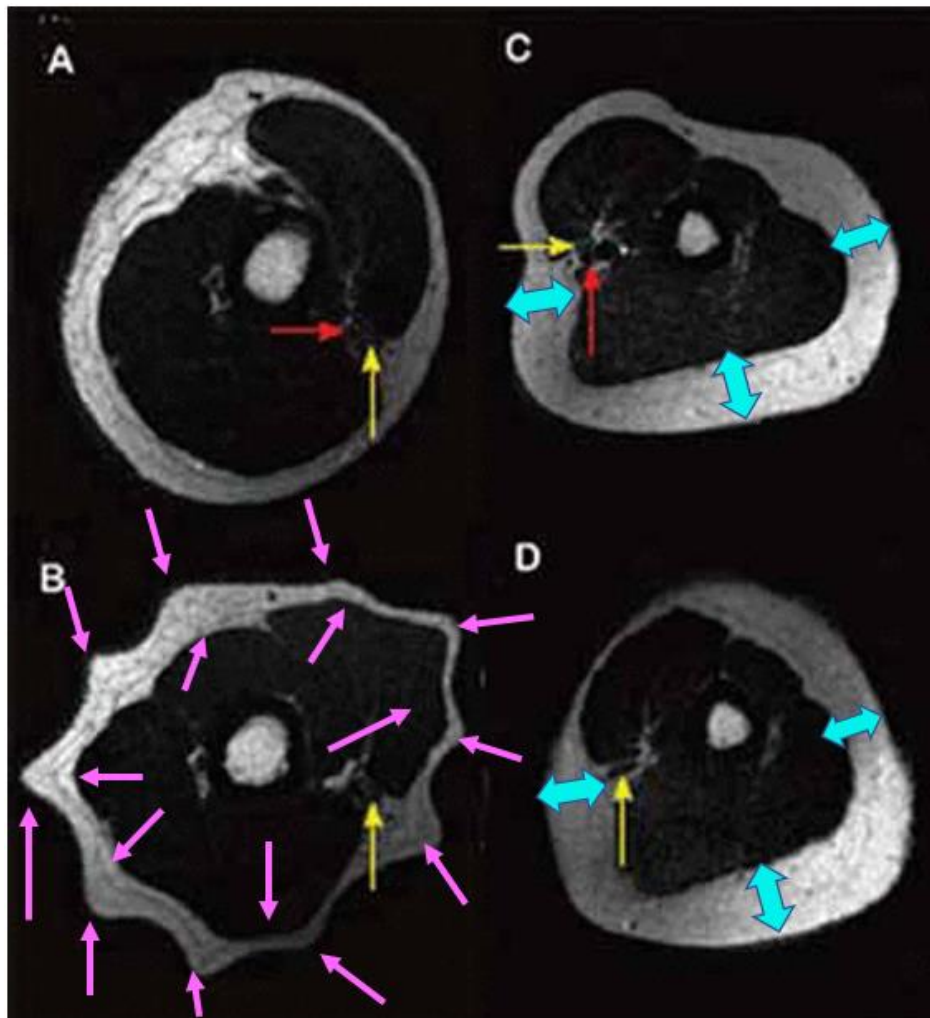


Fig.- 16 -IRM des deux bras.

Les flèches rouges indiquent l'artère brachiale

Les flèches jaunes indiquent le nerf médian.

A et C : images sans compression du bras droit et du bras gauche.

B : image avec compression du bras droit par « garrot pneumatique » large.

D : image avec compression du bras gauche par HemaClear

La souffrance des tissus (muscle) est visiblement plus élevée (B) sous « garrot pneumatique », que celle de la déformation en D sous HemaClear.

L'élasticité des tissus est physiquement et métaboliquement préservée par un faible niveau compressif et une déformation peu étendue.

Finalement dans le délai opératoire, que ce soit pour le nerf, les muscles, et leurs fonctions, comme pour la peau, et le fascia, c'est bien la déformation qui est responsable de tous les effets, en faisant le lit des complications aggravantes à craindre à la levée du garrot, et c'est plus évident lorsque la force est prise en compte dans nos analyses.

La survenue d'une rhabdomyolyse dans des délais assez courts pose moins de questions sous cet angle.

« 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) » JP ESTEBE (Mise au point : Le garrot pneumatique. Le Praticien en anesthésie réanimation (2016) 20, 6—13).

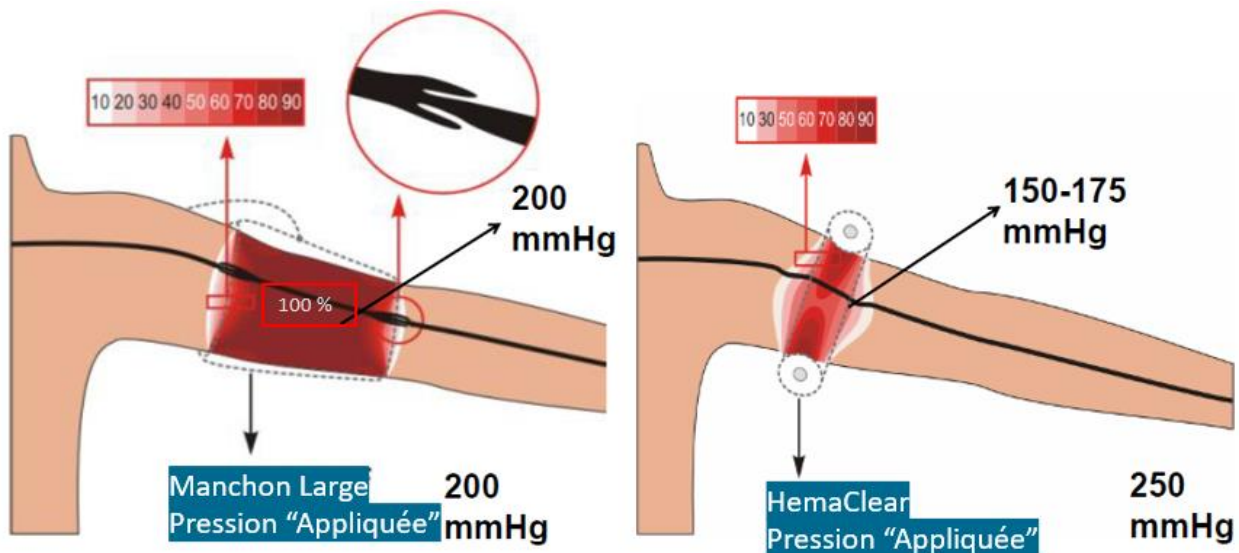


Fig. 17 - Coupe transversale dégradation de pression
Tensiomètre Large versus HemaClear étroit
Gradient de pression sur les vaisseaux

Les patients (sauf contre-indication), sont capables de résister à des forces (pour adulte mince à obèse <90 cm circonférence du membre), de 3 kg à 20 kg sur le bras et de 6 kg à 81 kg sur la jambe, chacun selon le modèle prévu, sa force et sa corpulence.

En pratique, compte tenu de la mobilité intacte (passive et active) sous HemaClear, pour tous les membres, et de l'absence de complication compressive, nous pouvons affirmer qu'en déformant un segment très court du nerf de 10 mm à 20 mm, dans la limite de 120 minutes, ce garrot a peu d'effet sur la conduction nerveuse, l'élasticité des tissus et la fonction musculaire.

5- Levée de garrot/ Ischémie - reperfusion et coagulation intravasculaire :

Si les conditions de la compression-ischémique ne sont pas traumatisantes pour la peau, les tissus, les muscles, les vaisseaux, les nerfs, il n'y a alors aucun obstacle à de bonnes conditions pour la reperfusion à la levée du garrot, hormis la coagulation intravasculaire si du sang était resté en aval de l'occlusion.

« 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.... Même en l'absence d'un foramen ovale perméable des micro-embolies cérébraux sont fréquents (60 %) lorsque le GP est relâché. »

JP ESTEBE (Mise au point : Le *Garrot pneumatique*. Le Praticien en anesthésie réanimation 2016 - 20, 6—13)

Une autre fonction du HemaClear consiste à faire l'exsanguination totale avant l'interruption de la circulation.

La volémie est intacte pendant la procédure, et il n'y a pas de coagulation intravasculaire, une autre source de complications, évitées en amont.

Les transfusions sont également réduites sensiblement grâce à cette épargne pré-incision d'après notre expérience et la littérature internationale et en France également. (CHRU Strasbourg Wisniewski S. et Jenny JY).

[A l'origine du HemaClear il y a un set de 2 HemaClear pour faire un HemaShock conçu pour la réanimation en cas d'arrêt cardiaque ou de choc hémodynamique sévère, pour remonter le sang des périphériques dans la circulation centrale.]

L'intérêt pour le patient de voir sa volémie préservée pendant la procédure reste à évaluer, même si on devine assez bien que moins d'hémodilution est *a priori* souhaitable.

6- Conclusion & Recommandations

« Tout était décrit » dans la définition académique de référence de la compression sur le vivant, rappelée en introduction :

« ...La compression produit les effets les plus variés sur les tissus vivants. Elle y détermine des changements de texture et des altérations vitales qui varient suivant sa force et l'étendue des surfaces affaissées. »

« ...les plus variés » = les étapes nombreuses d'un Crush -Syndrome

« ...changements de texture » = de l'élasticité à la plasticité

« ...des altérations vitales » = complications systémiques de la rhabdomyolyse traumatique

En conclusion, un garrot chirurgical doit connaître sa pression de déformation des tissus (pression cutanée), nécessairement dégradée par l'épaisseur du membre, et sa pression d'occlusion (sur les vaisseaux à l'intérieur du membre).

De plus la mobilité active ou passive du membre doit être conservée à 100 %, car c'est un signe qu'il est incapable d'altérer la fonction nerveuse, ni l'inhibition musculaire, et c'est très utile du reste que ce soit en chirurgie des extrémités ou prothétique des articulations en général.

Les données / limites utiles sont :

- **La pression appliquée sur la peau, et la pression (dégradée) au centre du membre.**
- **La force totale en Kg.**
- **La durée d'exposition.**

En France, ces données sont accessibles, (Fig-13), par les caractéristiques du modèle HemaClear sélectionné, et peuvent renseigner le dossier médical du patient.

La circonférence du membre à l'emplacement du HemaClear, et la tension artérielle du patient dictent le choix du modèle.

L'équivalent de la HAS en Angleterre, le NICE, a déjà publié 2 recommandations au sujet de ce dispositif, une sur sa stérilité en 2011 et une plus récente en 2016 après la publication du papier français qui a rappelé et mis à jour la force des garrots.

Nous recommandons d'informer l'ensemble des professions concernées, de cette opportunité récente de pouvoir maîtriser et limiter tous les paramètres admis d'un garrot lorsqu'il est utile.

Il semble tout aussi nécessaire de réclamer que les modes d'emploi ou instructions d'usage, et descriptions techniques des garrots chirurgicaux soient complétés par ces données.

Les auteurs recommandent et s'associent à la démarche de Monsieur Sidney Azoulay qui a participé intensivement aux discussions, partagé des résultats non publiés avec les auteurs, d'informer l'ensemble des sociétés savantes concernées.

Professeur Pierre Bourquelot

Professeur Bernard Levy

Docteur Olivier Galland

Professeur Eric Vandebussche

Pièces jointes par Sidney Azoulay & recommandations

- **Journal of Vascular Access: *Narrow elastic disposable tourniquet (Hemaclear®) vs. traditional wide pneumatic tourniquet for creation or revision of hemodialysis angioaccesses. J Vasc Access. 2016;17(3):205.*** P Bourquelot (CMC A. Paré, Neuilly/Seine) et BI Levy (Institut du Sang et des vaisseaux, INSERM U970, Hôpital Lariboisière, Paris).

- **Dr Olivier Galland (recommandation jointe)**

- **Pr Philippe Neyret (recommandations jointes)**

- **Pr Jean-Yves Jenny (publication et recommandation jointes)**

**Silicone ring tourniquet or pneumatic cuff tourniquet for total knee arthroplasty
Jean-Yves Jenny & David Bahlau & Sandra Wisniewski1 International Orthopaedics
(SICOT) DOI 10.1007/s00264-016-3160-0**

- **A disposition :**

La bibliographie complète du HemaClear

Evaluations sur sites en France

(exemple joint du Pr Pierre Bourquelot premiers essais en 2013)

« Je remercie les auteurs pour leur écoute attentive, leurs recommandations et celles des experts. »

Sidney Azoulay

Narrow elastic disposable tourniquet (Hemaclear®) vs. traditional wide pneumatic tourniquet for creation or revision of hemodialysis angioaccesses

Pierre Bourquelot¹, Bernard I. Levy²

¹Angioaccess Surgery Department, Clinique Jouvenet, Paris - France

²Vessels and Blood Institute, Inserm U970, Hôpital Lariboisière, Paris - France

ABSTRACT

Purpose: To choose the best arterial tourniquet for angioaccess surgery.

Methods: Preventive hemostasis with an arterial tourniquet prevents bleeding and provides better visualization. The surgeon may currently use a traditional wide nonsterile inflatable pneumatic cuff after exsanguination with an Esmarch bandage or a disposable sterile narrow elastic silicone ring (HemaClear®), available in different sizes according to the patient's limb circumference and blood pressure.

Results: The latter is easily rolled up the upper limb after surgical draping, to achieve exsanguination and occlusion of the proximal brachial artery, thus providing a wide sterile field that is most useful for upper arm vein superficialization or arteriovenous fistula (AVF) revision. Although rare, neurological complications must be prevented by limiting the compressive force applied to the tissues to occlude the arteries and the veins. Such tissues are almost non-compressible but deformable; thus, they may be elongated and damaged, mostly at both extremities of the tourniquet, especially the nerves. The compressive force (kg) applied to the limb by the cuff is the product of the cuff pressure (mm Hg) imposed and the surface (cm²) of the skin in contact with the cuff. Reduction of the cuff surface results in reduction of the volume of tissue beneath the cuff and therefore in limitation of the compressive force.

Conclusions: From a theoretical point of view and from clinical data, it seems therefore reasonable to recommend the use of a narrower cuff size and, for practical reasons, the silicon ring.

Keywords: Arteriovenous fistula, Preemptive hemostasis, Tourniquet

Introduction

Preventive hemostasis is routinely used by the authors for every angioaccess procedure located at or below the mid upper arm. For arteriovenous fistula (AVF) creation (1), the main benefit of preventive hemostasis in association with microsurgery is improved visualization of anatomical details, allowing for creation of distal AVF in most patients, even in small children. The second benefit is the prevention of possible spasm of the radial artery, related to the surgical dissection and ligation of collaterals that are necessary when instrumental clamping is employed. For angioaccess revision procedures

(2), one more benefit of preventive hemostasis is the total absence of blood loss, even during high flow access revision.

The device traditionally used is the pneumatic tourniquet, inflated after limb exsanguination using an Esmarch elastic bandage. Nevertheless, in a study published in 1974 (3) about half the surgeons were still using an Esmarch bandage as a tourniquet. This can produce extremely high tissue pressure, and a disproportionate number of complications may be related to such use.

An elastic, non-pneumatic narrow disposable silicone ring tourniquet (HemaClear®, OHK Medical Devices, Haifa, Israel) was introduced recently to clinical practice to achieve both exsanguination and occlusion of arterial flow.

The aims of this review are to compare the clinical use of the classical wide pneumatic tourniquet with the use of the narrow silicone elastic ring tourniquet, and to re-evaluate the risks and the theoretical basis of preventive hemostasis for surgical angioaccess procedures.

Tourniquets are used at both the upper and lower limbs. However, in the present paper we mainly describe and discuss their use in the creation or revision of angioaccesses in the upper limb.

Accepted: December 27, 2015

Published online: March 23, 2016

Corresponding author:

Pierre Bourquelot
30 rue Du-Couedic
75014 Paris, France
pierre@bourquelot.fr

Clinical use of pneumatic tourniquets

Preventive hemostasis is implemented after completion of echo-guided regional anesthesia and intravenous administration of prophylactic antibiotics, before sterile surgical draping. The size of the tourniquet is chosen according to the caliber of the proximal part of the upper limb, traditionally using a wider tourniquet for obese patients. European and US guidelines recommend using a cuff with a width at least 0.3 times the limb circumference (4, 5). A wrinkle-less padding beneath the tourniquet is mandatory. Exsanguination must be as complete as possible using the Esmarch elastic bandage. For small children and for older patients with fragile skin, a narrow non-elastic bandage is more convenient for exsanguination. The tourniquet is then inflated to 50 mm Hg above the arterial systolic pressure. It is recommended not to exceed one hour before deflation. This is long enough for the creation of the fistula. After deflation of the tourniquet, the patency of the anastomosis should be checked by visible dilatation of the vein, thrill palpation or evidence of a permanent signal with systolic reinforcement on sterile Doppler examination, the latter two being positive signs of a well-functioning AVF. Finally, the hemostasis is completed and the incision closed.

In the case of incomplete exsanguination, any persistent bleeding or minimal leaking of plasma while suturing the anastomosis may be responsible for blood coagulation or deposits of fibrin, resulting in primary thrombosis. In such conditions, atraumatic clamps should be placed on both sides of the artery opening to stop any leakage.

The duration of tourniquet inflation is still a matter of debate. One hour is generally considered to be a safe limit, but on the basis of current data some authors consider two hours to be a widely accepted limit. One hour is in fact a sufficient amount of time for the vast majority of angioaccess creations but this may be too short for complex AVF revision.

The traditional pneumatic tourniquet is usually too wide to be used for access surgery above the lower third of the upper arm, i.e., the second stage of superficialization of the upper arm basilic or cephalic vein and brachio-axillary graft. Some other contraindications have been reported, most being only relative contraindications. In our experience, preventive hemostasis for AVF creation in patients with sickle cell disease for frequent exchange transfusions has been uneventful. In cases of highly calcified arteries, the tourniquet may be only partly effective. Finally, the use of a tourniquet is questionable for revision of angioaccesses associated with distal ischemia.

In cases of massive hemorrhage related to skin necrosis at the puncture site, immediate local finger pressure will easily stop the bleeding. A compression bandage (reinforced, if necessary, with a pneumatic arterial blood pressure cuff or better still an orthopedic surgery tourniquet) can then be applied to the bleeding site and the patient should be urgently transferred to the operating theatre. Surgical revision can then be performed, ideally using preventive hemostasis, but some upper arm lesions may be situated too high for proximal application of a pneumatic tourniquet.

One limitation of the traditional pneumatic tourniquet is the risk of infection. In the absence of ethylene oxide

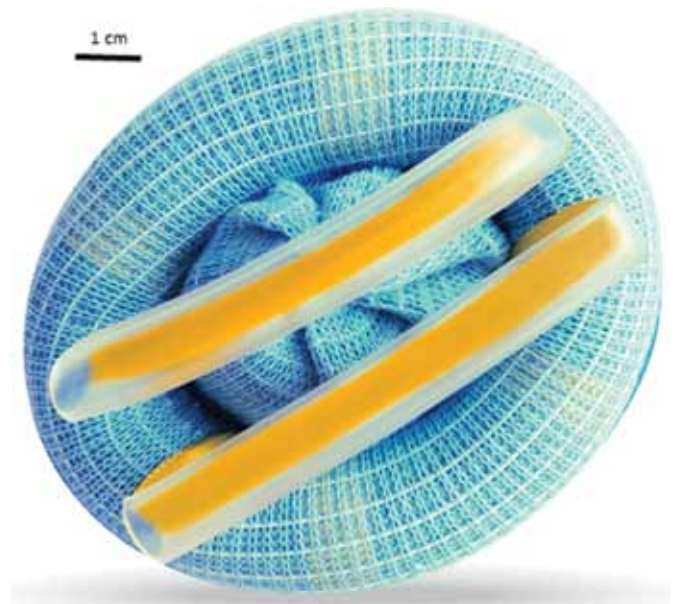


Fig. 1 - HemaClear®/40 yellow tourniquet.

sterilization, significant contamination with bacteria commonly involved in surgical site infections may be found on most tourniquets and Esmarch bandages used in orthopedic theaters (6).

Clinical use of elastic silicone ring tourniquets

The silicone ring device is made of a narrow, sterile, disposable, elastic ring, and pull straps wrapped in a stockinet sleeve. The size is determined after measuring the limb circumference of the patient at the required occlusion site. The full range of available sizes covers infants to obese adults for the upper extremity and for different blood pressures. The HemaClear®/40-yellow upper arm model (Fig. 1) is suitable for most adult patients with upper limb circumferences ranging from 24 to 40 cm and systolic arterial pressure of <190 mm Hg. After surgical sterile draping, the ring is easily and rapidly rolled up the upper limb by pulling the straps to produce exsanguination (>95% of the limb blood volume), up to the proximal part of the upper arm to occlude the brachial artery blood flow.

The main practical advantages of this device are usability, sterility and narrowness of the ring (<2 cm in width) allowing a large sterile field, and this is necessary for upper arm vein superficialization or AVF revision.

For a primary forearm or upper arm AVF, a protective card is placed underneath the silicone ring after completion of the anastomosis. The ring is then cut with a scalpel and removed, before final hemostasis and skin suture (Fig. 2). For superficialization of the cephalic vein by lipectomy (7), it is recommended to grasp and elevate a portion of the ring in front of the brachial artery with two forceps at the end of the procedure. This will momentarily release the compression of the artery in order to check the function of the angioaccess, before cutting the ring. The same maneuver is used after superficialization of



Fig. 2 - Section of the HemaClear® silicone ring after completion of the anastomosis (Photo by E. Molon).

the upper arm basilic vein in a subcutaneous tunnel. Alternatively, it has been recommended to remove the ring (8) after harvesting the basilic vein under tourniquet control and prior to tunneling the vein in order to be able to flush the vein with heparinized saline and verify that it is not twisted.

Use of the narrow elastic ring is possible in almost all re-interventions, including proximal skin necrosis at puncture sites of an upper arm angioaccess.

There are nevertheless some contraindications, related to mechanical exsanguination. Exsanguination by upper limb elevation and traditional pneumatic tourniquet is preferred in cases of significant skin lesions (skin disease, paper-thin skin, burns) and infection.

Nerve complications due to tourniquet application

Incidence

Pneumatic tourniquet

The incidence of neurological complication in Australia in the 1970s following use of a tourniquet was approximately one to 5000 applications on the upper limb. Thirty-three years later, in 2006, one severe neurological complication was reported in Norway for approximately every 6000 tourniquet applications to the upper limb. During that interval, in spite of modifications to the pneumatic tourniquet with lower and more controlled pressures, there has been no reduction in the total incidence of neurological complications following tourniquet application (3).

Elastic ring

Gavriely in 2010 (9) reported that the prevalence of nerve damage available to OHKMedical Devices following the use of its S-MART/ HemaClear® was 2/100,000. Now, with more than 800,000 applications worldwide, not one case of long-term tourniquet nerve injury has been reported (Gavriely, personal

communication). Nerve complications were reported to have occurred only when the device was used beyond the recommended 120-minute time limit. In 2012 Reyenders (unpublished data) reported an overall 0.5% complication rate after 4870 HemaClear® applications (20% upper limb). These were: lung embolism 2 (lower limb), thigh pain 12, slight paresis 5, and imperfect visualization 12 (9 upper limb). In 2013 Drosos et al (10) reported no related complications in 536 orthopedic operations, including 219 upper limbs, but the tourniquet failed in 14 patients (2.6%), possibly related to unexpectedly elevated blood pressure or incorrect selection of HemaClear® type. In cases of tourniquet failure with persisting bleeding, it is urgent to remove the ring and restore circulation (11).

Etiology: ischemia or compression or both?

It is generally agreed that the incidence and severity of nerve complications is related to both excessive and prolonged pressure applied to nerves beneath the cuff, rather than to ischemia.

Ochoa et al (12) used a tourniquet to produce long-standing conduction blocking in the peripheral nerves of baboons. They found a characteristic lesion (lateral displacement of Ranvier's nodes with rupture of the stretched paranodal myelin) preceding paranodal demyelination. The anatomical features and distribution of this lesion (maximal at both edges of the cuff) suggest that the damage to the nerve fibers is a direct result of the pressure applied (force), and not a consequence of secondary ischemia. The consequences for the nerves are different according to the force of the compression: 1) Mild compression of the nerve fibers produces a physiological block which is reversed as soon as the compression pressure is released. 2) Severe compression may actually crush the fibers and leads to Wallerian degeneration; the response of the nerve distal to the lesion is then lost and possible recovery may take months. 3) Intermediate severe compression may result in a local lesion (modification of Ranvier's nodes) with preservation of distal conduction; this may take several weeks to recover.

Graham et al (13) experimented with pressure transducers placed adjacent to the radial, median and ulnar nerves in the upper extremities of six cadavers of average dimensions. His conclusions were: 1) the pressures applied to a normally sized arm by an externally applied tourniquet cuff are transmitted to underlying peripheral nerves with no significant attenuation in the intervening soft tissues (confirming and documenting the hypothesis of incompressible tissue), 2) the highest tissue pressures are manifested under the midpoint of the cuff and the lowest pressures are under the cuff edges, and 3) at higher levels of inflation the pressure gradient between areas under the edges and midpoint of the cuff may result in the creation of deleterious transverse shear forces applied to the nerves.

Discussion: wide or narrow tourniquets?

Mittal et al (14) noted that wider cuffs have been reported to cause reduced risk of tourniquet-induced injury to the underlying soft tissues than narrower cuffs due to the fact that lower occlusion pressures are caused by the former. To

address and investigate this question, conduction in the median nerve was measured proximal to the tourniquet as well as distal to the tourniquet, by Graham et al (15). Elastic cuffs 14 cm and 7 cm wide were applied to the upper extremities of 20 healthy, normotensive volunteers. Systolic blood pressure was first measured and the cuff was then inflated to 20-30 mm Hg above this and was kept inflated for 15 minutes. Recordings were made prior to the period of tourniquet inflation, and following release of the tourniquet. Nerve conduction velocity was more severely affected by the 14 cm cuff than by the 7 cm cuff. The conclusion was that wider cuffs resulted in more severe changes in the nerve.

The damage caused to the tissues and particularly to nerves beneath the cuff depends on several parameters, i.e., the duration of compression, the mechanical stress imposed on the nerves, and the volume of compressed tissues: for identical cuff pressure, the longer the length of nerve under the cuff, the greater the likelihood of nerve damage.

Moreover, the notion of mechanical stress requires more clarification. For an arm circumference of 35 cm and a cuff width of 14 cm (surface of the cuff-skin contact: $35 \times 14 = 490 \text{ cm}^2$) inflated at 200 mm Hg (or 266 g/cm^2), the total force applied to the arm is $490 \times 266 = 130 \text{ kg}$. For the identical inflation pressure (200 mm Hg), a 7 cm wide cuff positioned on the same arm (circumference 35 cm) will result in a total applied force of $7 \times 35 \times 266 = 65 \text{ kg}$. Using a 1.4 cm wide 259 mm Hg (or 344 g/cm^2) pre-calibrated compression pressure HemaClear® device, for the same 35 cm circumference arm, the total force applied would be 17 kg, i.e., about 4 and 8 times less than the forces calculated for the 7 and 14 cm wide pneumatic cuffs, respectively. Finally, with nearly the same pressures (mm Hg) and similar results for the arterial blood inflow (i.e., interruption), the total force applied (kg) to the arm of the patient is proportional to the width of the cuff.

This is in agreement with morphological measurements performed under experimental conditions: Kovar et al (16) assessed the morphological grade of median and radial nerve compression for 20 minutes with either a silicon ring or a pneumatic tourniquet placed on the upper non-dominant limb of 14 healthy human volunteers, visualized by 3 Tesla magnetic resonance imaging (MRI), using high-resolution (2.5 mm slice thickness) axial T2-weighted sequences. They could not detect any significant difference in the diameters of median and radial nerves between basal resting conditions, compression by HemaClear® and by the standard pneumatic tourniquet. Their previous hypothesis that a narrow silicone ring causes more pressure to the nerve compared to a wide tourniquet was not proven. Because tissues, and especially muscles, are basically incompressible but deformable, any force applied to a limb area will produce their deformation and mobilization from that area to both upper and lower parts of the limb. Figure 3 shows MRI images of both left and right upper limbs at the cuff level of a pneumatic tourniquet (A, B) or HemaClear® device (C, D). The images clearly show that the muscular tissue volume was markedly reduced at the cuff level. It can be supposed that the muscle, and hence both vessels and nerves at this level, were stretched during compression. This longitudinal stretch may cause damage to the nervous tissue, as previously demonstrated by Ochoa et al (12).

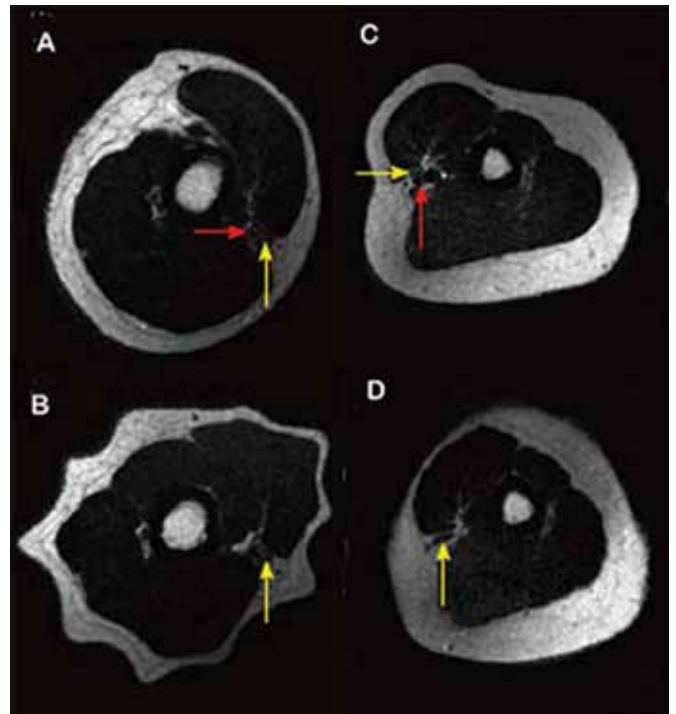


Fig. 3 - Magnetic resonance imaging (MRI) of upper limb before and during compression with a pneumatic tourniquet (A, B) or a HemaClear® device (C, D), respectively. Red arrow indicates open brachial artery, yellow arrow indicates median nerve demonstrating no differences in nerve size without and with compression in either group. From Kovar et al (16), with permission.

Finally, to minimize the deleterious effects of cuff pressure for vascular surgery of the limb, three parameters can be modified: the magnitude and the duration of the occluding pressure and the volume of the compressed tissues. The goal of pressure devices (pneumatic tourniquet or silicon ring) is the same, i.e. to transmit pressure to the underlying limb artery that is greater than the systolic arterial blood pressure. Actually, the wider the cuff, the greater the volume of the compressed tissues and the length of stretched nerves. We may therefore expect more severe nerve and tissue damage with wider cuff sizes. Doubling the cuff width will result in doubling the cuff-skin surface and hence the total force applied and the volume of the compressed tissues.

From a theoretical point of view and clinical data, it seems therefore reasonable to recommend the use of a narrower cuff size, and, for practical reasons the silicon ring.

Conclusion

Preventive hemostasis allows for better vision, limited dissection of vessels and complete absence of blood loss when creating or revising arteriovenous angioaccess shunts. Neurological complications related to tourniquet application are rare but may be dramatic

Both wide and narrow occluding tourniquets must be applied to the limb artery at a pressure higher than the systolic arterial pressure to result in arterial occlusion and thus cessation of bleeding. However, the total force applied to the

tissues, especially the nerves, and also the volume of compressed soft tissues, are far greater when wide size cuffs are used. Furthermore, a narrow elastic ring has several practical advantages for the surgeon. We therefore recommend the use of narrow silicon rings for angioaccess surgery, especially for arteriovenous fistulas.

Acknowledgement

The authors thank Sidney Azoulay (consultant) who intensively participated in discussions and shared unpublished results with the authors (info@provinmedical.fr), and Doreen Raine (translator) for revision of the manuscript (info@doreenraine.fsnet.co.uk).

Disclosures

Financial support: None.
Conflict of interest: None.

References

1. Bourquelot PD. Preventive haemostasis with an inflatable tourniquet for microsurgical distal arteriovenous fistulas for haemodialysis. *Microsurgery*. 1993;14(7):462-463.
2. Pirozzi N, Scrivano J, Pettorini L, Baldinelli M, Punzo G, Menè P. Preventive hemostasis for hemodialysis vascular access surgical reinterventions. *J Vasc Access*. 2013;14(2):193-195.
3. Middleton RWD, Varian JP. Tourniquet paralysis. *Aust N Z J Surg*. 1974;44(2):124-128.
4. Estebe JP, Davies JM, Richebe P. The pneumatic tourniquet: mechanical, ischaemia-reperfusion and systemic effects. *Eur J Anaesthesiol*. 2011;28(6):404-411.
5. AORN Recommended Practices Committee. Recommended practices for the use of the pneumatic tourniquet in the perioperative practice setting. *AORN J*. 2007;86(4):640-655.
6. Thompson SM, Middleton M, Farook M, Cameron-Smith A, Bone S, Hassan A. The effect of sterile versus non-sterile tourniquets on microbiological colonisation in lower limb surgery. *Ann R Coll Surg Engl*. 2011;93(8):589-590.
7. Bourquelot P, Tawakol JB, Gaudric J, et al. Lipectomy as a new approach to secondary procedure superficialization of direct autogenous forearm radial-cephalic arteriovenous accesses for hemodialysis. *J Vasc Surg*. 2009;50(2):369-374, 374.e1.
8. Ladenheim E, Krauthammer J, Agrawal S, Lum C, Chadwick N. A sterile elastic exsanguination tourniquet is effective in preventing blood loss during hemodialysis access surgery. *J Vasc Access*. 2013;14(2):116-119.
9. Gavriely N. Surgical tourniquets in orthopaedics. [Letter]. *J Bone Joint Surg Am*. 2010;92(5):1318-1322, author reply 1322-1323.
10. Drosos GI, Ververidis A, Mavropoulos R, Vastardis G, Tsioros KI, Kazakos K. The silicone ring tourniquet in orthopaedic operations of the extremities. *Surg Technol Int*. 2013;23(23):251-257.
11. Gavriely N. Pathophysiology and prevention of HemaClear tourniquet failure. *Hemaclear Press 2012*; Available from: <http://hemaclear.ohkmedicaldevice.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2014/04/Tourniquet-Failure.pdf?c3da8b>. Accessed January 4, 2016.
12. Ochoa J, Fowler TJ, Gilliatt RW. Anatomical changes in peripheral nerves compressed by a pneumatic tourniquet. *J Anat*. 1972;113(Pt 3):433-455.
13. Graham B, Breault MJ, McEwen JA, McGraw RW. Perineural pressures under the pneumatic tourniquet in the upper extremity. *J Hand Surg*. 1992;17(3):262-266.
14. 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*. 2008;3(1):1.
15. Graham B, Breault MJ, McEwen JA, McGraw RW. Occlusion of arterial flow in the extremities at subsystolic pressures through the use of wide tourniquet cuffs. *Clin Orthop Relat Res*. 1993;(286):257-261.
16. Kovar FM, Jandl M, Oberleitner G, et al. Nerve compression and pain in human volunteers with narrow vs wide tourniquets. *World J Orthod*. 2015;6(4):394-399.

Recommandation

J'ai eu le plaisir d'être certainement un des premiers utilisateurs du Garrot HemaClear.

J'ai en effet toujours été étonné, quand on connaît en France l'ampleur du sujet des infections, de voir mes patients installés les uns après les autres avec des garrots statiques en salle, plus ou moins nettoyés entre 2 interventions, dont au mieux il s'agissait d'un garrot membre inférieur ou membre supérieur, profilé ou non, et ce dans une routine confinante à l'indifférence.

Faisant essentiellement au membre inférieur de la chirurgie du Genou, de plus en plus prothétique, la présence si près de l'incision, bien qu'au-delà du champ stérile opératoire, de cet élément suspect, sur le plan hygiénique, sans véritable distinction dans le gonflage de la taille de cuisse du sujet, avec un gonflage « standard » à 400 mm de Hg, a laissé particulièrement chez le sujet âgé quelques sidérations quadricipitales fort gênantes en rééducation, mais également tout autant parfois sur le quadriceps d'un sportif, malgré un court timing de ligamentoplastie du LCA par exemple.

C'est un des derniers éléments résistant dans son remplacement dans la recherche d'une hygiène péri-opératoire optimale et, depuis l'apparition progressive des champs, tous les tuyaux, compresses, bistouris électriques et autres en usage unique, le garrot pneumatique résiste encore, plus pour longtemps, on peut l'espérer...

En urgence traumatique sur les extrémités, la gamme HemaClear est complète et facile d'utilisation.

O. Galland

Membre fondateur d'Orthorisq.

Le 15/11/2022

Bonjour,

C'est avec plaisir que je partage avec mon vous mon expérience comme utilisateur du système d'exsanguination HemaClear. Il y a 10 ans Sidney Azoulay m'a présenté les avantages théoriques de ce système qui vise à remplacer le garrot.

C'est mon vécu de chirurgien du genou dont je veux faire état.

- Utiliser l'HemaClear c'est la garantie d'un **champ opératoire exsangue** avec une parfaite visualisation des structures anatomiques, des champs et des instruments non souillés par le sang. Dans certaines indications c'est un gain de temps chirurgical.
- **Stérile et à usage unique**, Il n'y a pas de problème de garrots non désinfectés entre deux patients. C'est un gain de temps pour le personnel indiscutable. Il est aussi possible de placer l'HemaClear en cours d'intervention pour seulement le temps du cimentage d'une prothèse si le chirurgien le décide.
- Terminé **le lâchage de garrot** en cours d'intervention. Je n'ai jamais observé une fois cet incident en 10 ans d'expérience.
- Dans l'immense majorité des cas le faible encombrement de l'HemaClear permet de gagner plusieurs centimètres vers la racine de la cuisse ce qui agrandit le champ opératoire si nécessaire.
- Je n'ai pas observé de complications neurologiques ou artérielles en rapport avec l'HemaClear pendant toutes ces années.
- Si les phlébites ont quasi disparu il est difficile d'en attribuer le seul mérite à l'HemaClear car conjointement sont intervenues la RAAC, le lever précoce la mobilisation post op immédiates. Mais force est aussi de constater que les complications thromboemboliques ne sont plus au premier plan pour nos opérés. Les douleurs post opératoires à la racine de cuisse sont désormais rares.

Il existe peut-être une limite d'utilisation, les vrais obèses, le modèle XXL peut occlure une cuisse de 85 cm maximum.

La simplicité d'utilisation et l'absence d'accidents observés en relation avec l'HemaClear m'ont conduit à l'utiliser dans tous les centres hospitaliers ou cliniques françaises ou étrangères ou j'ai eu la chance d'exercer toutes ces années. J'ai introduit ce système d'exsanguination il y a maintenant 5 ans aux Emirats Arabes Unis.

A mon sens HemaClear allie **Sécurité** pour le patient et **Confort** pour le chirurgien .

Professeur Philippe Neyret

Recommandation

Lyon, le 26/05/2019

Monsieur Azoulay Sidney, (Provin Medical) nous a démontré récemment, que la pression de gonflage des garrots, comme moyen de contrôle de la compression d'un garrot peut être modérée par une réduction sensible (6 à 8 fois moins), de la force totale appliquée sur un membre, et du volume/surface de tissus sous compression, au minimum utile.

Cela permet de réduire l'impact sur les patients et d'éviter d'éventuelles, mais statistiques complications.

A toute fin utile, je recommande Monsieur Azoulay Sidney dans sa démarche d'informer l'ensemble de la profession, de cette opportunité récente de pouvoir maîtriser et limiter tous les paramètres admis d'un garrot à savoir, la pression, la durée mais aussi la force et la surface de compression pour atteindre un standard de qualité des soins optimal.

Professeur Philippe Neyret

Professeur Jean-Yves Jenny

Silicone ring tourniquet or pneumatic cuff tourniquet for total knee arthroplasty

Jean-Yves Jenny¹ · David Bahlau¹ · Sandra Wisniewski¹

Received: 16 December 2015 / Accepted: 6 March 2016
© SICOT aisbl 2016

Abstract

Purpose The goal of the present study was to evaluate the potential advantages of a silicon ring tourniquet in comparison to the conventional pneumatic cuff tourniquet. The tested hypothesis was that the calculated blood loss will be decreased after use of the silicone ring tourniquet.

Methods The study was monocentric and mixed retrospective and prospective evaluation of prospectively collected data. Inclusion criterion was implantation of a total knee arthroplasty. The retrospective control group involved 39 patients operated on with a pneumatic cuff tourniquet. The prospective study group involved 33 patients operated on with a silicone ring tourniquet. All patients were followed for three months. Primary criterion was the calculated blood loss (OSTHEO formula). Secondary criteria were pain on third post-op day, need for allogenic transfusion, haemoglobin drop, delay of discharge, and occurrence of complications.

Results The mean calculated blood loss was 901 ml in the study group and 989 ml in the control group (NS). There was no significant difference in pain evaluation and haemoglobin drop between the two groups. There was a non significant decrease of allogeneic transfusion and length of stay in the study group. There was a significant decrease of complication rate in the study group, and especially for skin complications.

Conclusions The tested hypothesis was not confirmed: there was no significant change in the calculated blood loss. No bias

was identified in complication analysis. The decreased rate of skin complication might be a positive influence of the silicone ring tourniquet.

Keywords Calculated blood loss · Silicone ring tourniquet · Tourniquet · Total knee arthroplasty

Introduction

Use of a tourniquet remains controversial during total knee arthroplasty (TKA) [1–3]. Satisfactory outcomes have been observed after TKA implanted without tourniquet [4]. Documented advantages are a bloodless operative field [5], less intra-operative blood loss [6], and a better cement penetration [7]. However, disadvantages may be more post-operative blood loss [2], a greater occurrence of venous thrombosis [3], neuromuscular [8] or cutaneous [9] damage, and delayed rehabilitation [10]. Especially, tourniquet time over 100 minutes increases the risk of complications after TKA, and special attention should be given to reduce the tourniquet time [11]. Consequently, alternate procedures have been suggested. The half-course tourniquet strategy [12] could decrease the total peri-operative blood loss in primary TKA, and may be beneficial in helping patients to achieve earlier functional recovery by improving the pain experience and limb swelling early in the post-operative period.

Use of a silicone ring tourniquet (SRT) (Hemaclear[®], Provin Medical, Lyon, France) has been suggested [13]. It is postulated that this tourniquet will decrease blood loss through a better exsanguination, and will decrease soft tissue damage through a smaller compression area [14]. The goal of the present study was to evaluate advantages and disadvantages of this new tourniquet for TKA. The tested hypothesis was that the calculated total blood loss after TKA will be decreased with

Level of evidence: Level III – retrospective comparative study

✉ Jean-Yves Jenny
jean-yves.jenny@chru-strasbourg.fr

¹ Centre de Chirurgie Orthopédique et de la Main, University Hospital Strasbourg, 10 avenue Baumann, F-67400 Illkirch, France

use of the SRT in comparison to a conventional pneumatic cuff tourniquet (PCT).

Material and methods

The study followed the ethical standards of the Helsinki declaration of 1975 as revised in 2000, and was accepted by the institutional ethical committee. It was a monocentric evaluation which mixed retrospective and prospective analysis of prospectively collected data. Inclusion criterion was implantation of a TKA for end-stage knee osteoarthritis. Exclusion criteria were a contra-indication to the intra-operative use of a tourniquet and bilateral procedures.

Seventy two patients were selected after having given their informed consent. The retrospective control group involved 39 patients operated on with a PCT between May 2014 and December 2014. The prospective study group involved 33 patients operated on with a SRT between January 2015 and June 2015. There were 24 men and 48 women, with a mean age of 67 years (± 10) and a mean body mass index (BMI) of 32.9 kg/m^2 (± 8.9). All patients received a cemented TKA (e.motion[®] TKA, Aesculap, Tuttlingen, FRG) implanted by one single surgeon (JYJ) under control of a navigation system (OrthoPilot[®], Aesculap, Tuttlingen, FRG). Hemostasis was performed during the whole procedure with electrocautery according to the surgeon's judgment. No drainage was left, either in the joint or in the soft tissue.

In the control group, the PCT was applied by the operating nurse around the upper thigh before draping. Exsanguination was performed by gravity by lifting the foot for five minutes, and the tourniquet was inflated just prior to skin incision. The tourniquet was deflated after dressing application.

In the study group, the SRT was applied by the operating surgeon after draping just prior to skin incision. The ring was sectioned after dressing application.

All patients followed the same regimen of pre-operative, intra-operative and post-operative drugs, including the intra-operative use of 1 g of tranexamic acid (Exacyl[®], Sanofi-Aventis, Paris, France), and a six week post-operative deep venous thrombosis (DVT) prophylaxis by enoxaparin (Lovenox[®] 4000 UI/d, Sanofi-Aventis, Paris, France). All patients followed the same accelerated rehabilitation process, with immediate full weight bearing and unrestricted knee range of motion [15].

All patients were evaluated after three months. Primary criterion was the calculated blood loss (CBL) according to the OSTHEO formula [16]. Secondary criteria were duration of tourniquet inflation, pain on third post-operative day measured by a visual analogic scale (VAS), need for allogeneic transfusion, hemoglobin drop, delay of discharge, and occurrence of complications. All criteria were compared between both groups with the appropriate statistical tests at a 0.05 level

of significance. The sample size was calculated to detect a difference of 200 ml in the CBL with a power of 0.80.

Results

There was no significant difference between both groups for pre-operative items. Especially, the mean pre-operative hemoglobin level was 13.5 g/dL (± 1.5) in the control group and 13.7 g/dL (± 1.2) in the study group (NS).

The mean CBL was 989 mL (± 505) in the control group and 901 mL (± 488) in the study group (NS). The mean duration of tourniquet inflation was 95 minutes (± 18) in the control group and 86 minutes (± 18) in the study group ($p = 0.04$). The mean pain evaluation on third post-operative day was 2.9 (± 1.7) in the control group and 3.2 (± 1.3) in the study group (NS). The mean haemoglobin drop was 2.2 g/dL (± 1.0) in the control group and 1.8 g/dL (± 0.8) in the study group (NS). There was a non significant, but clinical relevant decrease of allogeneic transfusion in the study group (one case, 4 units) in comparison to the control group (five cases, 10 units). There was a significant decrease in the delay for discharge in the study group (3.8 ± 1.9 d) in comparison to the control group (5.4 ± 2.8 d) ($p = 0.05$). There was a significant decrease of complication rate in the study group (one case of skin dehiscence) in comparison to the control group (four cases of skin dehiscence, three cases of delayed rehabilitation with prolonged stay, one case of symptomatic DVT, and one case of fracture after a fall) ($p = 0.02$).

Discussion

Few papers have been published about SRT. The results are controversial for carpal tunnel syndrome. Pereira et al. [17] reported no clinically significant advantage in a retrospective comparative study. However, Drosos et al. [13], in a prospective randomized study, observed a significant decrease in pain evaluation, suggesting less soft tissue damage. Only one evaluation during TKA has been reported [14]. Patients with SRT had a smaller decrease in haemoglobin on post-operative days one and three, and the amount of blood collected from drains at 24 h was significantly lower.

The primary hypothesis of the present study was not confirmed: the decrease in CBL observed in the study group was not statistically significant. This statement was confirmed by the absence of significant difference in the haemoglobin drop and the need for allogeneic transfusion between both groups. The theoretical positive impact on blood loss due to the SRT was not confirmed. The difference with a previous study [14] is probably due to a lack of power of the present study with fewer patients included (72 versus 311), as the absolute figures were similar for blood loss and haemoglobin drop. The

decreased need for allogeneic transfusion was felt to be clinically relevant. Furthermore, the operating surgeon had the subjective feeling that the operative field, and especially the osteotomized bone areas were drier in the study group than in the control group; but this statement could not be documented. The SRT cannot currently be considered as a blood preserving technique, and alternate techniques should be used, such as pre-operative haemoglobin optimization, femoral canal obturation, limited incision and release, peri- and intra-articular use of saline with adrenalin, tourniquet release after skin closure, and tranexamic acid [18].

Some significant differences were still observed.

The decrease in operating time was nine minutes in the study group. This might be due:

- To a less frequent need for haemostasis during surgery, in correlation with the subjective feeling of drier operative field;
- To a faster drying of the bone areas before cementing: pulsed lavage was frequently considered unnecessary by the operating surgeon.

The rate of complication was significantly decreased in the study group. Especially, the occurrence of skin necrosis was dramatically lower. This might be due to a decreased pressure trauma by the SRT. The smaller area of compression decreases the amount of soft tissue deformation under the ring in comparison to the cuff. It has been demonstrated that the seric enzymes elevation was lower in an experimental setting on rabbits [19]. The significant decrease in tourniquet time may be theoretically favorable to decrease the risk of tourniquet induced complications [11]. Furthermore, an electromyographic study showed that wider cuffs resulted in more severe changes in the nerve [20]: the SRT with its narrower compression may be beneficial.

An earlier discharge was also observed in the study group, but the detailed analysis showed that this change was clearly correlated to the treatment of complications.

No cost analysis was performed during this study. However, one can postulate that the extra-cost of the SRT (50€ in France), might be compensated:

- by a decreased operating time. It has been estimated recently that one minute operating time in France has a cost of 10.8 € [21];
- by a decreased need for allogeneic transfusion: one blood unit cost in France was about 180 € in 2015;
- by an earlier discharge: hospital charge for a TKA in France was about 5000 € in 2015 whatever the length of stay.

However, this medico-economic evaluation should be performed in a separate study to provide reliable results.

The present study has several limitations. Its retrospective design and the absence of randomization may induce uncontrolled biases. However, the comparability of both groups was controlled retrospectively, and no change in the operating technique or post-operative care occurred during the whole study. The study was powered to analyze the impact of the SRT on calculated blood loss; the significant differences observed in the secondary criteria must be considered with caution, and a further study is mandatory to confirm these differences. The potential benefit of using a sterile tourniquet instead of an off the shelf one for bacterial contamination [22] was not addressed. Finally, no actual cost analysis was performed, and the cost-effectiveness ratio could not be retrieved from the collected data.

However, the present study has some strength. This is the first evaluation of the SRT in TKA. Patient inclusion was consecutive, and no patient was lost of follow-up. No data in the retrospective control group was missing, and data collection in the study group was prospective. Sample size was calculated to be able to detect a clinically significant difference in CBL.

The CBL and the need for allogeneic transfusion were not significantly decreased by the use of SRT and cannot be considered as an advantage of this device. However, the significant decrease in operating time and the significant decrease in complication rate warrants further investigation. If these results are confirmed, the cost-effectiveness of the SRT might be positive.

Compliance with ethical standards

Conflict of Interest JYJ receives royalties from B-Braun Aesculap and is a paid consultant for B-Braun Aesculap, FH Orthopedics, Exactech. DB has nothing to disclose. No conflict interferes with the present paper.

References

1. Jiang FZ, Zhong HM, Hong YC et al (2015) Use of a tourniquet in total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Orthop Sci* 20:110–123
2. Yi S, Tan J, Chen C et al (2014) The use of pneumatic tourniquet in total knee arthroplasty: a meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg* 134:1469–1476
3. Zhang W, Li N, Chen S et al (2014) The effects of a tourniquet used in total knee arthroplasty: a meta-analysis. *J Orthop Surg Res* 9:13
4. Mårdian S, Matziolis G, Schwabe P (2015) Influence of wound drainage in primary total knee arthroplasty without tourniquet. *Int Orthop* 39:435–440
5. Parvizi J, Diaz-Ledezma C (2013) Total knee replacement with the use of a tourniquet: more pros than cons. *Bone Joint J* 95B(11 Suppl A):133–134
6. Tai TW, Chang CW, Lai KA et al (2012) Effects of tourniquet use on blood loss and soft-tissue damage in total knee arthroplasty: a randomized controlled trial. *J Bone Joint Surg Am* 94A:2209–2215

7. Pfitzner T, von Roth P, Voerkelius N et al (2014) Influence of the tourniquet on tibial cement mantle thickness in primary total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* doi: 10.1007/s00167-014-3341-6
8. Olivecrona C, Blomfeldt R, Ponzer S et al (2013) Tourniquet cuff pressure and nerve injury in knee arthroplasty in a bloodless field. A neurophysiological study. *Acta Orthop* 84:159–164
9. Heller S, Chen A, Restrepo C et al (2015) Tourniquet release prior to dressing application reduces blistering following total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 30:1207–1210
10. Liu D, Graham D, Gillies K et al (2014) Effects of tourniquet use on quadriceps function and pain in total knee arthroplasty. *Knee Surg Relat Res* 26:207–213
11. Olivecrona C, Lapidus LJ, Benson L et al (2013) Tourniquet time affects postoperative complications after knee arthroplasty. *Int Orthop* 37:827–832
12. Chen S, Li J, Peng H et al (2014) The influence of a half-course tourniquet strategy on peri-operative blood loss and early functional recovery in primary total knee arthroplasty. *Int Orthop* 38:355–359
13. Drosos GI, Ververidis A, Mavropoulos R et al (2013) The silicone ring tourniquet in orthopaedic operations of the extremities. *Surg Technol Int* 23:251–257
14. Brin YS, Feldman V, Ron Gal I et al (2015) The sterile elastic exsanguination tourniquet vs. the pneumatic tourniquet for total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 30:595–599
15. Antoni M, Jenny JY, Noll E (2014) Postoperative pain control by intra-articular local anesthesia versus femoral nerve block following total knee arthroplasty: impact on discharge. *Orthop Traumatol Surg Res* 100:313–316
16. Rosencher N, Kerckamp HEM, Macheras G et al (2003) Orthopedic Surgery Transfusion Hemoglobin European Overview (OSTHEO) study: blood management in elective knee and hip arthroplasty in Europe. *Transfusion* 43:459–469
17. Pereira A, Hendriks S, Facca S et al (2015) Evaluation of a new tourniquet for hand surgery: comparison of 76 carpal tunnel syndrome cases operated using a HemaClear[®] Model-F tourniquet versus a pneumatic tourniquet. *Chir Main* 34:73–78
18. Moráis S, Ortega-Andreu M, Rodríguez-Merchán EC et al (2014) Blood transfusion after primary total knee arthroplasty can be significantly minimised through a multimodal blood-loss prevention approach. *Int Orthop* 38:347–354
19. Chalidis BE, Kalivas E, Parzali M et al (2012) Cuff width increases the serum biochemical of tourniquet-induced skeletal muscle ischemia in rabbits. *Orthopedics* 35:e1245–e1250
20. Mittal P, Shenoy S, Sandhu JS (2008) Effect of different cuff widths on the motor nerve conduction of the median nerve: an experimental study. *J Orthop Surg Res* 3:1
21. Raft J, Millet F, Meistelman C (2015) Example of cost calculations for an operating room and a post-anesthesia care unit. *Anesth Crit Care Pain Med* doi: 10.1016/j.accpm.2014
22. Thompson SM, Middleton M, Farook M et al (2011) The effect of sterile versus non-sterile tourniquets on microbiological colonisation in lower limb surgery. *Ann R Coll Surg Engl* 93:589–590