

ORIGINAL ARTICLE

# Toxine Botulique de type A et médecine du sport: revue de littérature et applications pratiques

EXERCISE IS MEDICINE



**Démaret Marc-Antoine<sup>1</sup>, Grisey Hugo<sup>2</sup>, Gremeaux Vincent<sup>3,4</sup>**

<sup>1</sup> Service de chirurgie orthopédique et traumatologie de l'appareil moteur, Hôpitaux Universitaires de Genève, 1211 Genève 14

<sup>2</sup> Centre national du ski nordique et de moyenne montagne (CNSNMM), 39220, Prémanon

<sup>3</sup> Department of Sport Medicine, Swiss Olympic Medical Center, Lausanne University Hospital, Lausanne, Switzerland

<sup>4</sup> Lausanne University Sports Sciences Institute, University of Lausanne, Lausanne, Switzerland

## Abstract

In sports medicine, Botulinum Toxin type A (BoNT-A) can sometimes be used as an alternative for some of the most common pathologies of the musculoskeletal system. The objective of this narrative review is to identify the main current indications for BoNT-A in common sports pathologies, the technical conditions for its use, the doses used, and the main beneficial or adverse effects expected, in order to allow a practical approach for the clinician.

The injections are performed by a Physical and Rehabilitation Medicine or Sports Medicine specialist, and requires an operator trained in EMG and/or ultrasound muscle detection.

The main indications are epicondylalgia, plantar fasciitis, chronic exertional compartment syndrome (CECS), the functional popliteal artery entrapment syndrome (FPAES) and patellofemoral syndrome. The main effect sought being muscle-relaxant, undesirable transient paresis may occur, requiring some precautions regarding the dose used and a search for the optimal period in the sports calendar in order to minimize this risk.

Despite the multiplication of recent studies on the subject, the current level of evidence remains low and limits the use of BoNT-A to cases of failure or contraindication to first- or second-line treatments, and is performed without any guarantee of financial coverage.

## Resumé

L'injection de toxine botulique de type A devient une alternative à certaines pathologies de l'appareil locomoteur en médecine du sport et l'objectif de cette revue narrative est de recenser les principales indications actuelles de la BoNT-A en pathologie sportive courante, les conditions techniques de réalisation, les doses utilisées, les effets principaux bénéfiques ou indésirables attendus afin de permettre une approche pratique pour le clinicien.

Sur le plan médico-légal et technique, ces injections relèvent du médecin spécialiste de MPR ou de médecine du sport entraîné au(x) repérage(s) EMG et/ou échographique.

Les principales indications sont l'épicondylalgie, l'aponévropathie plantaire, le syndrome des loges chronique et la forme fonctionnelle du syndrome de l'artère poplitée piégée. L'effet principal recherché étant myorelaxant, une parésie transitoire indésirable peut survenir, nécessitant chez le sportif des précautions sur la dose utilisée et une recherche de la période optimale dans son calendrier afin de minimiser ce risque. Quant à sa place dans l'arsenal thérapeutique du clinicien, malgré la multiplication des études récentes sur le sujet, le faible niveau de preuve actuel restreint l'utilisation de la BoNT-A en cas d'échec ou de contre-indication aux traitements de première ou de seconde intention, et se réalise sans garantie de prise en charge assurantielle.

## Introduction

Historiquement utilisée en neuro-orthopédie dans le traitement de la spasticité et des mouvements anormaux, la BoNT-A (BoNT) prend désormais une place de plus en plus importante en tant qu'alternative thérapeutique dans le traitement des pathologies musculosquelettiques réfractaires aux thérapies physiques ou infiltratives «classiques».

L'objectif de cette revue narrative est de recenser les principales indications actuelles de la BoNT-A en

pathologie sportive courante, les conditions techniques de réalisation, les doses utilisées, les effets principaux bénéfiques ou indésirables attendus afin de permettre une approche pratique pour le clinicien.

### *Présentation de la BoNT-A et effets pharmacologiques [1]*

Les toxines botuliques de type A (BoNT-A) et de type B font partie des huit toxines produites par la bactérie *Clostridium botulinum*. Elles sont disponibles sous forme injectable à reconstituer, délivrées en pharmacie sur ordonnance médicale d'un médecin spécialiste habilité, avec des modalités de dispensation différentes selon les pays. Le BoNT-A est la formulation la plus couramment utilisée en médecine humaine. Il existe trois formulations différentes de BoNT-A: l'onabotulinumtoxine A, l'abobotulinumtoxine A et l'incobotulinumtoxine A respectivement commercialisées par les laboratoires Allergan (Botox®), Ipsen (Dysport®) et Merz (Xeomin®). Ces BoNT-A présentent des formes galéniques et des poids moléculaires différents, si bien que pour obtenir une efficacité clinique similaire, la dose de Dysport à injecter est généralement 3 fois celle de Botox ou Xeomin [2]. Aucune des toxines ne figure actuellement dans la liste des interdictions de l'Agence Mondiale Antidopage [3].

Les effets cliniques des neurotoxines de sérotypes A et B commencent généralement dans les 24 à 48 heures post injection, elles atteignent un pic après 2 à 3 semaines puis, se stabilisent en plateau pendant 1 à 2 mois [4].

### *Effet principal (paralysant du muscle et diminution de la contrainte tendineuse)*

La toxine botulinique s'oppose à l'exocytose de l'acétylcholine au niveau de la jonction neuromusculaire en se liant de manière irréversible aux récepteurs présynaptiques de la plaque motrice. Il en résulte un blocage de la neurotransmission et une réduction de l'activité musculaire du muscle strié concerné réversible du fait de la repousse axonale en 3 à 6 mois en moyenne [5]. Dans la pathologie de surcharge liée à la pratique sportive, cette paralysie s'avère alors intéressante en diminuant les contraintes en traction sur le tendon, permettant ainsi la mise au repos relative de son corps et de son enthèse, et une meilleure possibilité de gestion de la charge mécanique [6].

### *Effets annexes (antalgique, anti inflammatoire, vasomoteur)*

L'effet antalgique pur de la BoNT-A serait lié, selon plusieurs travaux, à sa capacité à moduler la libération de médiateurs de la douleur, (substance P, glutamate, voie TRPV1 et peptide lié au gène de la calcitonine) et à améliorer la transmission opioïdérique [7].

L'effet anti-inflammatoire rapporté sur des modèles animaux est plus inconstant et permettrait une modulation à la baisse de l'expression de cytokines pro-inflammatoires (IL 1 Beta, TNF alpha) [8].

Enfin, un effet vasomoteur local est décrit après injection sous cutané de BoNT-A via régulation de la réponse histaminique (diminution du flux sanguin et des réponses inflammatoires) [9].



**Figure 1:** Boîtier de stimulation / détection EMG, aiguille intra-musculaire reliée au boîtier et seringue de 1 mL

### *Effets secondaires*

Les effets secondaires sont rares dans la littérature [6]. L'effet principal est directement lié aux propriétés intrinsèques de la BoNT-A, avec l'apparition d'une faiblesse motrice transitoire du muscle injecté qui peut survenir même pour des petites doses, mais qui suit aussi une logique dose-dépendante. Il convient d'être plus prudent pour les muscles dits de «précision» (doigts, mains) que pour d'autres muscles dont l'action est plus facilement relayée par des agonistes. C'est une des raisons pour lesquelles il faudra de principe être vigilant quant à la période d'injection (en privilégiant par exemple une injection en hors saison chez le sportif de haut niveau) afin de minimiser l'impact éventuel négatif en cas de survenue [10].

Contrairement à ce qui a été observé chez des enfants atteints de paralysie cérébrale [11], aucune atrophie musculaire n'a encore été rapportée à la suite d'injections de BoNT-A dans la population générale.

### *Procédure: repérage, injection, règles d'asepsie*

Le repérage préalable de la zone d'intérêt à injecter peut se faire de plusieurs façons.

Dans le cadre d'injections intramusculaires, il est possible d'utiliser le repérage par électromyographie/stimulation (EMG/STIM) et/ou écho-repérage. Plusieurs études ont montré que le repérage anatomique seul n'était pas suffisant pour effectuer une injection ciblée [12].

Le repérage par électromyographie/stimulation consiste à utiliser une aiguille 21G spécifique, reliée électriquement à un boîtier d'électrostimulation (Clavis/Stimulplex) (Fig. 1). Elle nécessite une bonne

connaissance de la cartographie du/des point(s) moteur(s) du muscle ciblé. Via ce dispositif, la stimulation fait visualiser une contraction mécanique signant la réponse fonctionnelle du muscle ciblé.

L'écho-repérage permet de bénéficier d'un feedback visuel morphologique direct du site d'injection.

Associée à la stimulation, elle permet de visualiser la contraction mécanique du muscle. Cela nécessite un opérateur entraîné et de solides connaissances écho-anatomiques. La technique de repérage «in-plane» ou «out-of plane» dépend du muscle à injecter et des préférences de l'utilisateur.

Aucune de ces techniques n'a montré sa supériorité l'une par rapport à l'autre notamment dans la pathologie neurologique [13]. En pratique, et malgré le temps supplémentaire requis, nous préconisons l'utilisation conjointe de la stimulation et du guidage échographique qui représente un couple complémentaire et permet de bénéficier des avantages des deux techniques.

En raison de la localisation intra-musculaire de l'injection, les règles d'injection sont celles de toute injection intra-musculaire. Il n'existe pas de recommandations d'asepsie validées spécifiquement pour l'injection de BoNT-A, et les pratiques diffèrent [14]. Nous préconisons au minimum l'usage de gants non stériles, et une désinfection par la chlorhexidine alcoolique; lors d'injection avec écho-repérage, l'utilisation de matériel stérile (gel d'échographie, protège-sonde) nous amène à utiliser plutôt des gants stériles.

## Principales indications (tableau 1)

### *Epicondylalgie*

L'épicondylalgie – ou tennis elbow – est une enthésopathie de traction du tendon commun des épicondyliens.

Sur le plan thérapeutique, on pourra proposer les injections de toxine botulique dans les formes de tendinopathie non fissuraires résistantes au traitement conventionnel. Elles peuvent être également proposées en tant qu'«orthèse biologique» dans les formes fissuraires chez le travailleur manuel ne pouvant pas stopper son activité professionnelle; en effet, contrairement aux injections intra-tendineuses de Plasma Riche en Plaquettes (PRP), le repos n'est pas systématiquement indiqué après les injections de toxine botulique.

Les cibles à privilégier sont les muscles extenseurs du carpe, principalement le muscle court extenseur radial du carpe puisqu'il forme la face profonde et antérieure du tendon commun.

Les cibles à privilégier sont les muscles extenseurs du carpe, principalement le muscle court extenseur radial du carpe puisqu'il forme la face profonde et antérieure du tendon commun.

Pathologie	Cibles	Dose «proposée» par les auteurs	Dilution proposée
Epicondylalgie latérale	Court extenseur radial du carpe	60 UI Dysport, en 2 points, 3–4 cm en distalité de l'épicondyle (21)	60 UI dans 6 mL
		50 UI Botox, 5 cm en distalité de la zone la plus douloureuse de l'épicondyle (22)	50 UI dans 2 mL
		60 UI Dysport, 1 cm en distalité de l'épicondyle (23)	Non précisée*
		40 UI Dysport, 5 cm en distalité de l'épicondyle (24)	500 UI dans 5 mL
		50 UI Botox, 3–4 cm en distalité de l'épicondyle (6)	Non précisée*
Aponévrosite plantaire	Origine du fascia plantaire et zone douloureuse	100 UI Xeomin (25)	100 UI dans 1 mL
		70 UI Botox en 2 points: – Origine du fascia: 40 UI – Point situé entre le milieu de l'arche plantaire et le point situé à 2,5 cm distalement à l'origine du fascia: 30 UI (26,27)	
		200 UI Dysport (injection «en éventail») (28)	200 UI dans 2 mL
	Carré plantaire (CP), court fléchisseur des orteils (CFO) (29)	150 UI Dysport: – CP: 100 UI – CFO: 50 UI	100 UI dans 1 mL
Gastrocnémiens et soléaire (30)	250 UI BoNT-A: – Gastrocnémiens: 100 UI / muscle – Soléaire: 50 UI	Non précisée*	
Syndrome des loges chronique / d'effort	Loge antérieure: Tibial antérieur (TA), Extenseur commun des orteils (ECO), Long extenseur de l'hallux (LEH)	3,8 UI/kg Dysport: – TA: 1,4 UI/kg – ECO: 1,4 UI/kg LEH: 1 UI/kg (17)	500 UI dans 2,5 mL
		40 UI Botox dans chaque muscle en 2 points (un proximal, un distal) (31)	Non précisée*
		50 UI Botox réparties en 2 points (tiers proximal, tiers distal) dans la loge (muscles non précisés) (6)	Non précisée*
	Loge latérale: Court fibulaire (CF) et Long fibulaire (LF)	2,4 UI/kg Dysport: LF: 1 UI/kg CF: 1,4 UI/kg (17)	500 UI Dysport dans 2,5 mL
		40 UI Botox dans chaque muscle en 2 points (un proximal, un distal) (31)	Non précisée*
		50 UI Botox réparties en 2 points (tiers proximal, tiers distal) dans la loge (muscles non précisés) (6)	Non précisée*
	Loge postérieure superficielle: gastrocnémiens et soléaire (6)	Gastrocnémiens: 50 UI Botox réparties dans les deux chefs Soléaire: 50 UI Botox	Non précisée*
Loge postérieure profonde: tibial postérieur, long fléchisseur des orteils (6)	50 UI Botox réparties en 2 points (tiers proximal, tiers distal) dans la loge (muscles non précisés) (6)	Non précisée*	
Syndrome de l'artère poplitée piégée (forme fonctionnelle)	Gastrocnémiens (tiers proximal) (32)	200 UI Dysport par muscle	500 UI dans 2,5 mL
	Gastrocnémien médial, plantaire grêle (33)	50 UI Botox par muscle, maximum 100 UI par jambe	Non précisée* 50 UI dans 2,5mL (34)
	Gastrocnémien médial seul (10)	50 UI Botox	Non précisée*



Pathologie	Cibles	Dose «proposée» par les auteurs	Dilution proposée
Syndrome fémoro-patellaire	Muscle vaste latéral	300–500 UI Dysport en 10 points (35)	Non précisée*
		500 UI Dysport, en 5 points espacés de 3 cm, premier point à 3–5 cm au dessus de la patella (36)	Non précisée*
	Muscle tenseur du fascia lata (37)	75 UI Dysport en plein corps musculaire	75 UI dans 0,75 mL
Gonarthrose	Genou – Intra-articulaire	250 UI Dysport (38)	250 UI dans 5 mL
		100–200 UI Botox (39)	Non précisée*
Syndrome du piriforme	Piriforme	50–100 UI Botox (40)	Non précisée*
		150–200 UI Dysport (41,42)	Non précisée*
Pubalgie liée aux adducteurs (43)	Long adducteur +/- gracile +/- court adducteur	250 UI Dysport répartis équitablement entre ces muscles en fonction des cas. – Long adducteur: 2 points – Gracile: 3 points – Court adducteur: 1 point	250 UI dans 5 mL
Syndrome du défilé thoraco brachial neurogène (NTOS)	Scalènes antérieur (SA), moyen (SM), trapèze (44)	100 UI Botox: – SA: 12 UI – SM: 12 UI – Trapèze: 76 UI	100 UI dans 1 mL
	SA, SM, trapèze, élévateur de la scapula, muscles cervicaux douloureux, subclavier et petit pectoral (45)	159–187 UI Botox: – SA: 12 UI – SM: 12–15 UI – Trapèze, élévateur de la Scapula, muscles cervicaux douloureux: 75–100 UI – Subclavier: 25 UI – Petit pectoral: 35 UI	100 UI dans 1 mL
	Scalène antérieur et petit pectoral (46)	41 UI Botox: – SA: 18 UI – Petit pectoral: 23 UI	50 UI dans 2 mL

\* Table de dilution simplifiée proposée (selon conditionnement et formulation de BoNT-A), à adapter selon le volume à injecter:  
– Botox et Xeomin: 50 UI/1 mL soit 5 UI/0,1 mL, 100 UI/1 mL et 200 UI/2 mL soit 10UI/ 0,1 mL  
– Dysport: 300 UI/1,5 mL et 500 UI/2,5 mL soit 20UI/ 0,1 mL

Tableau 1: Principales indications, cibles thérapeutiques, doses et dilutions proposées de BoNT-A

### Aponévropathie plantaire

Les relations étroites entre l'aponévrose plantaire et les muscles intrinsèques du pied (court fléchisseur des orteils, abducteurs de l'hallux et carré plantaire) en font des cibles de choix dans cette indication. Parmi les traitements recommandés en cas d'échec du traitement conservateur, les injections de BoNT-A intra musculaires peuvent être envisagées. Une revue systématique avec méta-analyse bien menée sur des essais contrôlés randomisés montre des améliorations fonctionnelles et une diminution de la douleur durables [15]; cependant, les auteurs soulignent que la plupart des essais inclus souffrent de biais de sélection lié à la randomisation des patients.

### Syndrome des loges chronique

Le syndrome des loges chronique résulte d'une inadéquation entre le contenu (musculaire, nerfs

vaisseaux) et le contenant (aponévrose) à l'effort, où la pression intra-loge devient excessive et entraîne alors une hypoxie des muscles de la loge concernée. La localisation principale (95%) concerne les jambes (la loge antéro-latérale notamment), mais ce syndrome peut aussi concerner le membre supérieur. Le traitement de référence est chirurgical par aponévrotomie [16].

La cible privilégiée concerne souvent l'ensemble des muscles de la loge concernée par le surplus de pression à l'effort. Un suivi rapproché est nécessaire afin de s'assurer de l'absence de déficit musculaire fonctionnel, le plus fréquent étant le déficit des releveurs après injection d'une loge antérieure [6]. Isner rapporte une diminution de force post injection dans 69% des cas, toujours supérieure à 3/5 sur l'échelle Medical Research Council score (MRCs), sans répercussion fonctionnelle [17]. Si tel est le cas, une orthèse de série de type releveur de pied dynamique peut être préconisée temporairement.

### *Syndrome du piriforme*

Ce syndrome s'exprime cliniquement par une sciatalgie à point de départ fessier par compression du nerf sciatique lors de son passage dans le canal infra piriforme. Il existe une forme douloureuse aiguë, souvent post traumatique au niveau de la région fessière (exemple: chute avec contusion directe de la région), et une forme chronique en lien avec une surutilisation des muscles pelvi-trochantériens ou un syndrome myofascial [18]. En raison de la proximité anatomique du muscle piriforme avec le nerf sciatique, l'injection au sein de ce muscle est privilégiée.

### *Syndrome de l'artère poplitée piégée (forme fonctionnelle)*

Le syndrome de l'artère poplitée piégée est une ischémie d'effort d'un ou des deux membres inférieurs en raison d'un piège anatomique ou fonctionnel (hypertrophie gastrocnémien) comprimant l'artère poplitée. Bien que le gold standard du traitement est chirurgical dans les formes anatomiques, les injections de toxines botuliques peuvent être une alternative thérapeutique dans les formes fonctionnelles liées à un piège d'origine musculaire. Les cibles à privilégier sont les muscles gastrocnémiens, et particulièrement le gastrocnémien médial.

### *Syndrome fémoro-patellaire*

Plusieurs études rapportent que l'augmentation de la pression sur le compartiment fémoro-patellaire pourrait être causé en partie par un déficit de recrutement spatio-temporel des unités motrices du vaste médial par rapport au vaste latéral [19,20]. Conjointement aux thérapies actuellement utilisées, l'injection de BoNT-A dans le vaste latéral permettrait alors de rétablir temporairement un équilibre musculaire favorable à l'amélioration clinique.

### *Suivi post injection*

Après l'injection, on préconise un repos relatif de 48–72 heures afin de limiter l'hématome au point de ponction, et d'optimiser la diffusion intra musculaire progressive du produit. Au décours de ce délai, une reprise progressive est à privilégier avec les consignes habituelles de gestion de la charge de travail chez



des patients souvent en échec thérapeutique de longue date avec souvent un déconditionnement global associé.

Un suivi régulier post-injection est nécessaire afin d'évaluer les effets et surveiller l'apparition éventuelle d'effets indésirables. Nous proposons au minimum une consultation de suivi à 1 mois, puis à 3 mois. Dans notre expérience, la rééducation reste nécessaire et recommandée après les injections lorsqu'elle fait partie de l'arsenal thérapeutique classique de la pathologie traitée.

En cas d'évolution favorable, la reprise de la compétition peut être envisagée après une consultation de suivi au cours de laquelle sera notamment notifiée l'absence de diminution de la fonction motrice pouvant entraver le geste sportif.

En cas d'évolution partiellement favorable, de nouvelles injections de toxines sont envisageables en respectant un délai de 3 à 6 mois. Notons qu'il n'existe pas à l'heure actuelle de recommandations vis-à-vis d'un nombre maximal de séries d'injection de toxine.

En cas d'échec, il reste possible de proposer une seconde injection, en réévaluant éventuellement la dose injectée et/ou les muscles ciblés. Enfin, en cas de persistance de la symptomatologie après deux séries d'injections, une autre prise en charge thérapeutique notamment chirurgicale (selon indication) doit être discutée.

## Limites principales

Malgré quelques méta-analyses incluant des études de bonne qualité sur la fasciopathie plantaire et l'épicondylite [15,47], les études souffrent principalement d'hétérogénéité en termes de sites d'injection, de type de BoNT-A et de doses utilisées.

A ce constat s'ajoute la présence de biais méthodologiques dans un nombre important d'études (pas de randomisation, pas de groupe contrôle, caractère rétrospectif, taille d'échantillon trop petite), aboutissant actuellement à un manque global de preuves d'efficacité de la BoNT-A dans les pathologies de l'appareil locomoteur et reléguant sa place actuelle de thérapie – au minimum – de deuxième intention.

Une des limites de notre travail est que nous nous sommes focalisés sur des pathologies «classiques» de médecine du sport, et avons choisi de ne pas traiter certaines pathologies telles que la lombalgie chronique [48], l'algoneurodystrophie [49], le ressaut antérieur de hanche, le conflit sous-acromial, les douleurs pelviennes chroniques, l'arthrose [50] et les douleurs myofasciales. Ce choix relève soit d'un trop faible nombre d'études à disposition, soit qu'elles ne nous semblaient pas suffisamment spécifiques à la médecine du sport.

Enfin, la BoNT-A est un traitement onéreux, qui ne fait pas encore l'objet d'une prise en charge systématique par les assurances maladies dans ce cadre nosologique. Notre expérience montre toutefois qu'une demande réalisée auprès des organismes d'assurance et justifiant le choix thérapeutique peut aboutir à une prise en charge de ce traitement.

## Practical implications

Malgré la multiplication des études récentes concernant l'utilisation de la BoNT-A en pathologie locomotrice de médecine du sport, le faible niveau de preuve actuel restreint l'utilisation de la BoNT-A en cas d'échec ou de contre-indication aux traitements de première ou de seconde intention, et se réalise sans garantie de prise en charge financière.

Elle relève du médecin spécialiste de MPR ou de médecine du sport, et nécessite un opérateur entraîné au(x) repérage(s) EMG et/ou échographique.

## Acknowledgments, conflict of interest and funding

The authors warmly thank Hélène Caumes-Goncalves for her help.

## Corresponding author

Dr Marc-Antoine Démaret

Service de chirurgie orthopédique et traumatologie de l'appareil moteur

Hôpitaux Universitaires de Genève, 1211 Genève 14

Tel +41 22 372 35 37

Email: [marc-antoine.demaret@hcuge.ch](mailto:marc-antoine.demaret@hcuge.ch)



## Références

1. Raffestin S, Marvaud JC, Cerrato R, Dupuy B, Popoff MR. Organization and regulation of the neurotoxin genes in *Clostridium botulinum* and *Clostridium tetani*. *Anaerobe*. avr 2004;10(2):93-100.
2. Scaglione F. Conversion Ratio between Botox®, Dysport®, and Xeomin® in Clinical Practice. *Toxins (Basel)*. 4 mars 2016;8(3):65.
3. Agence Mondiale Antidopage (AMA/WADA). Liste des interdictions 2022 [Internet]. 2022 [cité 17 déc 2022]. Disponible sur: [https://www.wada-ama.org/sites/default/files/2022-01/2022list\\_final\\_fr\\_0\\_0.pdf](https://www.wada-ama.org/sites/default/files/2022-01/2022list_final_fr_0_0.pdf)
4. Hackett R, Kam PCA. Botulinum toxin: pharmacology and clinical developments: a literature review. *Med Chem*. juill 2007;3(4):333-45.
5. Choudhury S, Baker MR, Chatterjee S, Kumar H. Botulinum Toxin: An Update on Pharmacology and Newer Products in Development. *Toxins (Basel)*. 14 janv 2021;13(1):58.
6. Moore C, Hulsopple C, Boyce B. Utilization of Botulinum Toxin for Musculoskeletal Disorders. *Curr Sports Med Rep*. juin 2020; 19(6):217-22.
7. Matak I, Bölcskei K, Bach-Rojecky L, Helyes Z. Mechanisms of Botulinum Toxin Type A Action on Pain. *Toxins (Basel)*. 5 août 2019;11(8):459.
8. Wang L, Wang K, Chu X, Li T, Shen N, Fan C, et al. Intra-articular injection of Botulinum toxin A reduces neurogenic inflammation in CFA-induced arthritic rat model. *Toxicon*. févr 2017;126:70-8.
9. Gazerani P, Pedersen NS, Drewes AM, Arendt-Nielsen L. Botulinum toxin type A reduces histamine-induced itch and vasomotor responses in human skin. *Br J Dermatol*. oct 2009;161(4):737-45.
10. Murphy M, Charlesworth J, Koh E. The effects of Botulinum Toxin injection in an elite sportsman with Functional Popliteal Artery Entrapment Syndrome: A case report. *Phys Ther Sport*. sept 2017;27:7-11.
11. Van Campenhout A, Verhaegen A, Pans S, Molenaers G. Botulinum toxin type A injections in the psoas muscle of children with cerebral palsy: muscle atrophy after motor end plate-targeted injections. *Res Dev Disabil*. mars 2013;34(3):1052-8.

12. Schnitzler A, Roche N, Denormandie P, Lautridou C, Parratte B, Genet F. Manual needle placement: accuracy of botulinum toxin A injections. *Muscle Nerve*. oct 2012;46(4):531-4.
13. Grigoriu AI, Dinomais M, Rémy-Néris O, Brochard S. Impact of Injection-Guiding Techniques on the Effectiveness of Botulinum Toxin for the Treatment of Focal Spasticity and Dystonia: A Systematic Review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1 nov 2015;96(11):2067-2078.e1.
14. Massebiaux C, Hôpitaux Universitaires de Genève. Injection intramusculaire chez l'adulte [Internet]. 2021 [cité 17 déc 2022]. Disponible sur: [https://www.hug.ch/sites/interhug/files/structures/direction\\_des\\_soins/documents/injection\\_im\\_annexe\\_sep\\_t\\_2011%20rev2021.pdf](https://www.hug.ch/sites/interhug/files/structures/direction_des_soins/documents/injection_im_annexe_sep_t_2011%20rev2021.pdf)
15. Acosta-Olivo C, Simental-Mendía LE, Vilchez-Cavazos F, Peña-Martínez VM, Elizondo-Rodríguez J, Simental-Mendía M. Clinical Efficacy of Botulinum Toxin in the Treatment of Plantar Fasciitis: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Arch Phys Med Rehabil*. févr 2022;103(2):364-371.e2.
16. Vajapey S, Miller TL. Evaluation, diagnosis, and treatment of chronic exertional compartment syndrome: a review of current literature. *Phys Sportsmed*. nov 2017;45(4):391-8.
17. Isner-Horobeti ME, Dufour SP, Blaes C, Lecocq J. Intramuscular pressure before and after botulinum toxin in chronic exertional compartment syndrome of the leg: a preliminary study. *Am J Sports Med*. nov 2013;41(11):2558-66.
18. Jankovic D, Peng P, van Zundert A. Brief review: piriformis syndrome: etiology, diagnosis, and management. *Can J Anaesth*. oct 2013;60(10):1003-12.
19. Cowan SM, Bennell KL, Hodges PW, Crossley KM, McConnell J. Delayed onset of electromyographic activity of vastus medialis obliquus relative to vastus lateralis in subjects with patellofemoral pain syndrome. *Arch Phys Med Rehabil*. févr 2001;82(2):183-9.
20. Van Tiggelen D, Cowan S, Coorevits P, Duvigneaud N, Witvrouw E. Delayed vastus medialis obliquus to vastus lateralis onset timing contributes to the development of patellofemoral pain in previously healthy men: a prospective study. *Am J Sports Med*. juin 2009; 37(6):1099-105.
21. Placzek R, Drescher W, Deuretzbacher G, Hempfing A, Meiss AL. Treatment of chronic radial epicondylitis with botulinum toxin A. A double-blind, placebo-controlled, randomized multicenter study. *J Bone Joint Surg Am*. févr 2007;89(2):255-60.
22. Hayton MJ, Santini AJA, Hughes PJ, Frostick SP, Trail IA, Stanley JK. Botulinum toxin injection in the treatment of tennis elbow. A double-blind, randomized, controlled, pilot study. *J Bone Joint Surg Am*. mars 2005;87(3):503-7.
23. Wong SM, Hui ACF, Tong PY, Poon DWF, Yu E, Wong LKS. Treatment of lateral epicondylitis with botulinum toxin: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Ann Intern Med*. 6 déc 2005;143(11):793-7.
24. Creuzé A, Petit H, de Sèze M. Short-Term Effect of Low-Dose, Electromyography-Guided Botulinum Toxin A Injection in the Treatment of Chronic Lateral Epicondylar Tendinopathy: A Randomized, Double-Blinded Study. *J Bone Joint Surg Am*. 16 mai 2018;100(10):818-26.
25. Ahmad J, Ahmad SH, Jones K. Treatment of Plantar Fasciitis With Botulinum Toxin. *Foot Ankle Int*. janv 2017;38(1):1-7.
26. Babcock MS, Foster L, Pasquina P, Jabbari B. Treatment of pain attributed to plantar fasciitis with botulinum toxin a: a short-term, randomized, placebo-controlled, double-blind study. *Am J Phys Med*

Rehabil. sept 2005;84(9):649-654.

27. Díaz-Llopis IV, Rodríguez-Ruiz CM, Mulet-Perry S, Mondéjar-Gómez FJ, Climent-Barberá JM, Cholbi-Llobel F. Randomized controlled study of the efficacy of the injection of botulinum toxin type A versus corticosteroids in chronic plantar fasciitis: results at one and six months. *Clin Rehabil.* juill 2012;26(7):594-606.
28. Elizondo-Rodríguez J, Simental-Mendía M, Peña-Martínez V, Vilchez-Cavazos F, Tamez-Mata Y, Acosta-Olivo C. Comparison of Botulinum Toxin A, Corticosteroid, and Anesthetic Injection for Plantar Fasciitis. *Foot Ankle Int.* mars 2021;42(3):305-313.
29. Ahadi T, Nik SS, Forogh B, Madani SP, Raissi GR. Comparison of the Effect of Ultrasound-Guided Injection of Botulinum Toxin Type A and Corticosteroid in the Treatment of Chronic Plantar Fasciitis: A Randomized Controlled Trial. *Am J Phys Med Rehabil.* 1 août 2022;101(8):733-7.
30. Elizondo-Rodríguez J, Araujo-Lopez Y, Moreno-Gonzalez JA, Cardenas-Estrada E, Mendoza-Lemus O, Acosta-Olivo C. A comparison of botulinum toxin a and intralesional steroids for the treatment of plantar fasciitis: a randomized, double-blinded study. *Foot Ankle Int.* janv 2013;34(1):8-14.
31. Baria MR, Sellon JL. Botulinum Toxin for Chronic Exertional Compartment Syndrome: A Case Report With 14 Month Follow-Up. *Clin J Sport Med.* nov 2016;26(6):e111-3.
32. Isner-Horobeti ME, Muff G, Masat J, Daussin JL, Dufour SP, Lecocq J. Botulinum toxin as a treatment for functional popliteal artery entrapment syndrome. *Med Sci Sports Exerc.* juin 2015;47(6):1124-7.
33. Gandor F, Tisch S, Grabs AJ, Delaney AJ, Bester L, Darveniza P. Botulinum toxin A in functional popliteal entrapment syndrome: a new approach to a difficult diagnosis. *J Neural Transm (Vienna).* oct 2014;121(10):1297-301.
34. Hislop M, Brideaux A, Dhupelia S. Functional popliteal artery entrapment syndrome: use of ultrasound guided Botox injection as a non-surgical treatment option. *Skeletal Radiol.* sept 2017;46(9):1241-8.
35. Singer BJ, Silbert PL, Dunne JW, Song S, Singer KP. An open label pilot investigation of the efficacy of Botulinum toxin type A [Dysport] injection in the rehabilitation of chronic anterior knee pain. *Disabil Rehabil.* 15 juin 2006;28(11):707-13.
36. Kesary Y, Singh V, Frenkel-Rutenberg T, Greenberg A, Dekel S, Schwarzkopf R, et al. Correction to: Botulinum toxin injections as a salvage therapy is beneficial for management of patellofemoral pain syndrome. *Knee Surg Relat Res.* 1 févr 2022;34(1):2.
37. Stephen JM, Urquhart DWJ, van Arkel RJ, Ball S, Jaggard MKJ, Lee JC, et al. The Use of Sonographically Guided Botulinum Toxin Type A (Dysport) Injections Into the Tensor Fasciae Latae for the Treatment of Lateral Patellofemoral Overload Syndrome. *Am J Sports Med.* mai 2016;44(5):1195-202.
38. Najafi S, Sanati E, Khademi M, Abdorrazaghi F, Mofrad RK, Rezasoltani Z. Intra-articular botulinum toxin type A for treatment of knee osteoarthritis: Clinical trial. *Toxicon.* juill 2019;165:69-77.
39. Zhai S, Huang B, Yu K. The efficacy and safety of Botulinum Toxin Type A in painful knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *J Int Med Res.* 29 déc 2019;48(4):0300060519895868.
40. Michel F, Decavel P, Toussirot E, Tatu L, Aleton E, Monnier G, et al. Piriformis muscle syndrome: diagnostic criteria and treatment of a monocentric series of 250 patients. *Ann Phys Rehabil Med.* juill 2013;56(5):371-83.
41. Yoon SJ, Ho J, Kang HY, Lee SH, Kim KI, Shin WG, et al. Low-dose botulinum toxin type A for the treatment of refractory piriformis syndrome. *Pharmacotherapy.* mai 2007;27(5):657-65.
42. Fishman LM, Dombi GW, Michaelsen C, Ringel S, Rozbruch J, Rosner B, et al. Piriformis syndrome:

- diagnosis, treatment, and outcome-a 10-year study. *Arch Phys Med Rehabil.* mars 2002;83(3):295-301.
43. Creuzé A, Fok-Cheong T, Weir A, Bordes P, Reboul G, Glize B, et al. Novel Use of Botulinum Toxin in Long-Standing Adductor-Related Groin Pain: A Case Series. *Clin J Sport Med.* 1 nov 2022;32(6):567-73.
44. Jordan SE, Ahn SS, Freischlag JA, Gelabert HA, Machleder HI. Selective botulinum chemodenervation of the scalene muscles for treatment of neurogenic thoracic outlet syndrome. *Ann Vasc Surg.* juill 2000;14(4):365-9.
45. Jordan SE, Ahn SS, Gelabert HA. Combining ultrasonography and electromyography for botulinum chemodenervation treatment of thoracic outlet syndrome: comparison with fluoroscopy and electromyography guidance. *Pain Physician.* juill 2007;10(4):541-6.
46. Donahue DM, Godoy IRB, Gupta R, Donahue JA, Torriani M. Sonographically guided botulinum toxin injections in patients with neurogenic thoracic outlet syndrome: correlation with surgical outcomes. *Skeletal Radiol.* mai 2020;49(5):715-22.
47. Lin YC, Wu WT, Hsu YC, Han DS, Chang KV. Comparative effectiveness of botulinum toxin versus non-surgical treatments for treating lateral epicondylitis: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil.* févr 2018;32(2):131-45.
48. Jazayeri SM, Ashraf A, Fini HM, Karimian H, Nasab MV. Efficacy of botulinum toxin type a for treating chronic low back pain. *Anesth Pain Med.* 2011;1(2):77-80.
49. Bellon G, Venturin A, Masiero S, Del Felice A. Intra-articular botulinum toxin injection in complex regional pain syndrome: Case report and review of the literature. *Toxicon.* 1 mars 2019;159:41-4.
50. Khenioui H, Houvenagel E, Catanzariti JF, Guyot MA, Agnani O, Donze C. Usefulness of intra-articular botulinum toxin injections. A systematic review. *Joint Bone Spine.* mars 2016;83(2):149-5