

**NANTES UNIVERSITÉ**

---

**FACULTÉ DE MÉDECINE**

---



Année : 2023

N°

**THÈSE**

pour le

**DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE**

DES de Médecine Physique et Réadaptation

Par

Emmanuel LE MERCIER

---

Présentée et soutenue publiquement le 04 Octobre 2023

---

Le dynamomètre manuel est-il une alternative pertinente au dynamomètre isocinétique pour l'évaluation de la faiblesse des rotateurs d'épaules dans le syndrome du défilé thoraco-brachial neurogène ?

---

Président du Jury : Professeur Raphael GROSS

Directeur de thèse : Docteur Alban FOUASSON-CHAILLOUX

Membres du Jury : Professeur Christelle DARRIEUTORT, Professeur  
Benoît LE GOFF, Docteur Guillaume GADBLED



**NANTES UNIVERSITÉ**

---

**FACULTÉ DE MÉDECINE**

---



Année : 2023

N°

**THÈSE**

pour le

**DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE**

DES de Médecine Physique et Réadaptation

Par

Emmanuel LE MERCIER

---

Présentée et soutenue publiquement le 04 Octobre 2023

---

Le dynamomètre manuel est-il une alternative pertinente au dynamomètre isocinétique pour l'évaluation de la faiblesse des rotateurs d'épaules dans le syndrome du défilé thoraco-brachial neurogène ?

---

Président du Jury : Professeur Raphael GROSS

Directeur de thèse : Docteur Alban FOUASSON-CHAILLOUX

Membres du Jury : Professeur Christelle DARRIEUTORT, Professeur  
Benoît LE GOFF, Docteur Guillaume GADBLED



# REMERCIEMENTS

---

*Au-delà de l'aspect scientifique, ce travail de thèse représente l'aboutissement d'un long parcours débuté il y a maintenant dix ans. Cet accomplissement n'aurait jamais été possible sans le soutien et l'inspiration de nombreuses personnes.*

**A Monsieur le Professeur Gross**, pour vos précieux enseignements, votre pédagogie et votre écoute attentive. Votre passion et votre enthousiasme pour notre discipline est contagieux et un exemple pour tous. C'est un honneur de vous avoir comme président de ce jury.

**Au Docteur Fouasson-Chailloux**, pour avoir dirigé cette thèse. Votre parcours et la rigueur appliquée à votre travail sont une source d'inspiration pour moi. Merci de m'avoir accordé du temps dans cette année particulière.

**A l'ensemble des membres du jury**, Monsieur le Professeur Le Goff, Madame le Professeur Darrieurtort et le Docteur Gadbled. C'est un véritable honneur que vous ayez accepté de juger ce travail.

**A l'ensemble des médecins** qui m'ont encadré lors de mon parcours, de l'externat à ce jour. L'immense diversité de partage d'expériences, toutes aussi enrichissantes les unes que les autres, ont participé à façonner le médecin que je suis aujourd'hui.

**A l'ensemble des équipes de soins, infirmières, aide soignants et rééducateurs** qui m'ont d'abord guidé puis accompagné. La médecine et ce qu'elle apporte aux patients prend du sens grâce à vous.

**A l'ensemble de mes co-internes**. La solidarité et le soutien mutuel dont j'ai pu bénéficier ont rendu le chemin plus facile.

Une mention toute particulière à Andy, Charlotte, Lou, Marine, Lola et Thomas avec qui j'ai partagé de nombreuses peines mais aussi de nombreux rires.

**A tous mes amis**, de Brest à Nantes, anciennes amitiés qui perdurent aux nouvelles tout aussi sincères et enrichissantes. Vous me tirez vers le haut.

**A mes colocataires de toujours**, JM et Matthieu. Ces années de cohabitation auront été mémorables. Je n'oublie pas Augustin et Quentin, qui ont également pu expérimenter mes qualités de cuisinier et mon fameux bordel organisé.

**A Briex et Robin**, je ne pourrais jamais vous remercier assez pour l'énorme soutien que vous m'avez apporté. J'ai une immense chance de vous avoir comme amis.

## **A ma famille,**

A ma grande sœur Céline, tu as toujours répondu présente quand j'avais besoin de toi. Tu es sans l'ombre d'un doute le pilier de notre famille.

A mon grand frère Loïc, pour ces conversations pleines de sens qui m'ont systématiquement remotivée. Merci pour tes conseils et tes relectures avisées.

A ma mère, mon premier soutien. Merci pour les mots, les encouragements, les lettres. Merci de ton amour.

**Et enfin à mon Père**, l'homme et le médecin que je suis aujourd'hui, c'est grâce à toi. Je sais que de là où tu es, tu es fier de moi.



## Table des matières

I. Introduction.....	6
A. Préambule .....	6
B. Epidémiologie .....	6
C. Physiopathologie.....	7
1. Anatomie.....	7
2. Facteurs favorisants .....	8
D. Diagnostic .....	9
1. Critères du CORE-TOS .....	9
2. Diagnostics différentiels .....	11
3. Les examens complémentaires .....	12
E. Prise en charge thérapeutique .....	13
II. Justificatif de l'étude.....	14
A. Le déficit de force musculaire dans le NTOS.....	14
B. Instruments de mesure de la force musculaire.....	15
1. Isocinétisme .....	15
2. Dynamomètre manuel.....	16
C. Hypothèse .....	17
III. Comparaison des deux méthodes de mesure de la force musculaire.....	17
A. Cadre de l'étude .....	17
B. Article en anglais .....	17
IV. Perspectives et Conclusion .....	29
V. Bibliographie.....	31
VI. Annexes.....	36
VII. Abréviation et acronymes .....	37

## I. Introduction

### A. Préambule

Le syndrome du défilé thoraco-brachial est une pathologie définie par les manifestations cliniques de la compression des structures neuro-vasculaires entre la base du cou et l'épaule. Il est séparé en trois entités selon la structure concernée : Le syndrome Artériel avec l'artère subclavière, Veineux avec la veine subclavière et Neurogène avec le plexus brachial.

Ce qui a d'abord été désigné comme le « Cervical Rib Syndrome » puis le « Scalenus anticus syndrome », porte depuis les années 1950 le nom de syndrome du défilé (ou de la traversée) thoraco-brachial (Thoracic Outlet Syndrome -TOS) et est source de nombreuses discussions sur le plan anatomique, diagnostique et thérapeutique.

La première mention dans l'histoire de ce syndrome remonte à 1861, où une jeune femme de 26 ans fut hospitalisée dans un hôpital de Londres pour douleur, dysesthésie et ischémie du membre supérieur gauche pour lequel fut posé le diagnostic de « côte cervicale »(1). En 1912, T. Wingate Todd fait une description anatomique de la contrainte nerveuse liée à l'abaissement de la ceinture scapulo-humérale avec l'âge(2).

Enfin en 1920, Stopford et Telford décrivent à Manchester un groupe de patients se plaignant de perte de force et d'une fatigabilité au niveau de la main associée à des paresthésies dans le territoire inférieur du plexus brachial ainsi que des troubles vasomoteurs, résolutifs après résection d'une partie de la première côte(3). Cela correspondait à la première description du tableau clinique moderne du syndrome neurogène (Neurogenic Thoracic Outlet Syndrome - NTOS).

### B. Epidémiologie

Le TOS est une pathologie considérée comme rare. La forme neurogène (NTOS) est de loin la plus fréquente, jusqu'à 95%(4). Son incidence est mal connue en raison de sa méconnaissance en pratique clinique, du retard diagnostique et du manque d'examen complémentaire spécifique, elle semble être aujourd'hui de 3/100 000 personnes par an(5). Le TOS atteint une population jeune, 35 à 40 ans en moyenne, avec un sex-ratio de 3 femmes pour 1 homme(6,7).

## C. Physiopathologie

### 1. Anatomie

Il a été identifié 3 espaces anatomiques pourvoyeur de conflits : le triangle interscalénique, l'espace costo-claviculaire et l'espace sous-pectoral (ou sous-coracoïde selon les descriptions) :

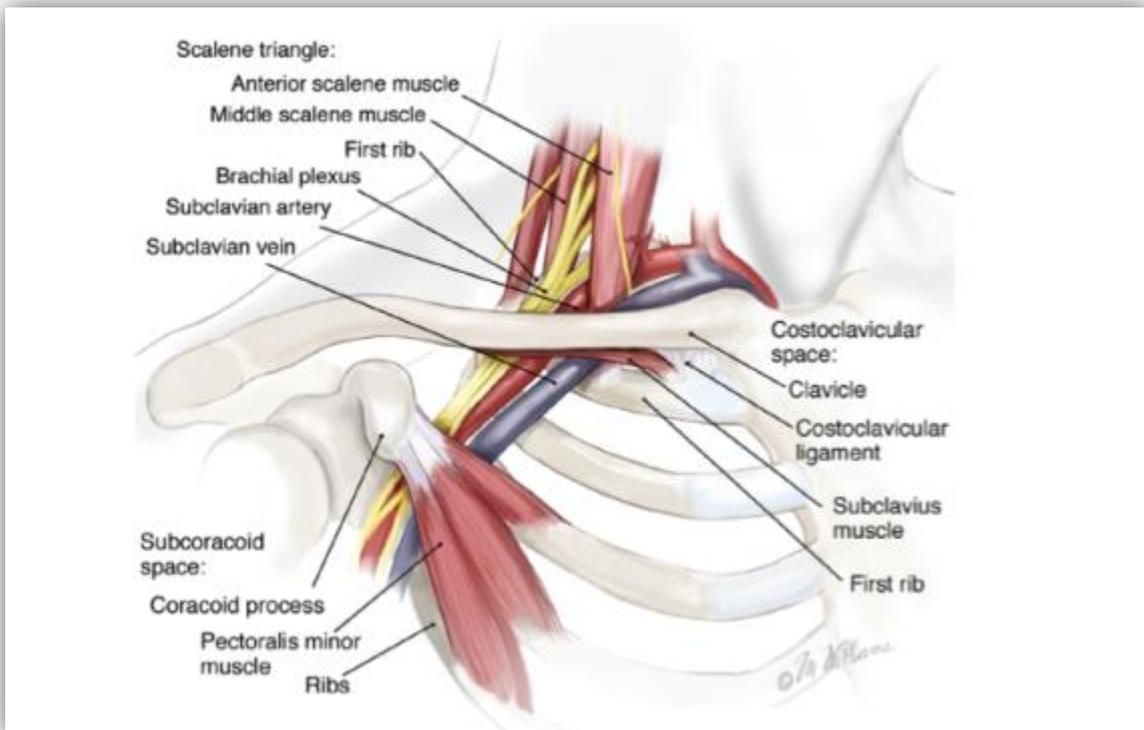


Figure 1 - Planche anatomique du défilé thoraco-brachial

- Le triangle interscalénique est délimité en antéro-supérieur par le muscle scalène antérieur, en postéro-supérieur par le muscle scalène moyen et en inférieur par la clavicule. Cet espace n'est traversé que par l'artère subclavière et par les troncs radiculaires formant le plexus brachial. La veine subclavière passe elle devant le scalène antérieur. Il est important de noter le passage du nerf thoracique long à travers le scalène moyen et du nerf phrénique le long du scalène antérieur. Des variations anatomiques ont été décrites favorisant les conflits comme une émergence haute des racines nerveuses ou une insertion plus postérieure du scalène antérieur entraînant un rétrécissement de l'espace (8).

- L'espace costo-claviculaire est délimité en antéro-supérieur par la clavicule et le muscle subclavier et en inféro-postérieur par la première côte. C'est l'espace qui semble le moins impliqué dans le NTOS.
- L'espace sous pectoral est délimité en arrière par les côtes thoraciques et en avant par le muscle petit pectoral qui s'insère sur le processus coracoïde et sur les côtes 3, 4 et 5. La contraction de ce dernier favorise un conflit dynamique dans cet espace.

De par le peu de modification du paquet neuro-vasculaire dans la traversée, les symptômes ne sont que très peu modifiés selon le site de conflit. La compression peut en revanche exister sur plusieurs sites, on parle alors de « double crush syndrome ».

## 2. Facteurs favorisants

### *a) Variations anatomiques*

La côte cervicale est retrouvée chez moins d'1% de la population générale (9). La plupart des personnes présentant une côte cervicale resteront asymptomatique toute leur vie. Chez ceux présentant des symptômes, on retrouve souvent un antécédent de traumatisme cervical.

Il a également été décrit des anomalies de développement de la première côte thoracique, avec une incidence dans la population générale assez faible, de 0.7% (10).

Les variations au niveau du triangle interscalénique sont précédemment développées dans la partie anatomie.

Les bandes fibreuses et variations ligamentaires décrit par David B. Roos (11) peuvent être citées, mais leur causalité n'a pas été démontrée car ses dernières se retrouvent largement dans la population générale (12).

### *b) Antécédents traumatiques*

Dans l'histoire de la maladie des patients atteints de NTOS, il est régulièrement retrouvé un épisode traumatique. Il s'agit typiquement du traumatisme cervical en hyperextension dans les accidents de la voie publique, appelé « whiplash ». Ce dernier pourrait engendrer des lésions musculaires au niveau des scalènes avec pour conséquences la formation de

tissus fibreux lors de la guérison, pourvoyeur de conflits avec le plexus(13). C'est le cas également des antécédents de fractures, notamment de la première côte et de la clavicule.

### *c) Troubles posturaux et dynamiques*

En dehors de toutes variations ou anomalies anatomiques, il est souvent retrouvé à l'examen clinique des troubles posturaux et de la dynamique musculo-squelettiques, souvent mis en lien avec l'activité professionnelle(14) ou sportive (15). Ces paramètres sont des enjeux majeurs de la prise en charge rééducative. Ces postures prolongées ont pour conséquences des asymétries musculaires, fermant ou ouvrant certains espaces dans le défilé (16,17). Les contractions et relâchements de certains muscles de la ceinture cervico-scapulo-humérale sont vraisemblablement impliqués dans les conflits avec le plexus brachial.

## D. Diagnostic

Le diagnostic de NTOS est évoqué chez des patients se présentant avec un tableau clinique hétérogène avec des douleurs, une sensation de faiblesse et des paresthésies de l'avant-bras et de la main. Les douleurs sont également volontiers cervicales ou proximales au niveau de l'épaule (18).

L'absence de critères anamnestiques, cliniques et radiologiques spécifiques a rendu son diagnostic difficile et controversé pendant de nombreuses années(19).

### 1. Critères du CORE-TOS

De nombreux efforts ont été fournis par les experts pour pallier ce problème et il a été récemment proposé par le Consortium for Outcomes Research and Education on Thoracic Outlet Syndrome (CORE-TOS) des critères objectifs afin d'uniformiser le diagnostic (20).

Le NTOS est donc défini par la présence depuis plus de 12 semaines, de symptômes du membre supérieur, s'étendant au-delà d'un territoire radiculaire ou tronculaires, sans argument pour un autre diagnostic et présentant au moins un élément dans quatre des cinq catégories présentées ci-après :

1- Symptômes principaux :

- Douleurs du cou, du rachis cervical, de l'épaule, du bras, de l'avant-bras et/ou de la main.
- Engourdissement, paresthésie et/ou faiblesse dans le bras, la main ou les doigts.

2- Caractéristiques des symptômes :

- Exacerbations des symptômes lors de l'élévation du bras.
- Exacerbations lors des activités prolongées ou répétées du bras et de la main.
- Irradiation de la douleur ou des paresthésies dans le bras depuis l'espace supra ou infra claviculaire.

3- Histoire clinique :

- Début des symptômes après traumatisme de la tête, du cou ou du membre supérieur, y compris stress répétés ou surutilisation du membre supérieur.
- Antécédent de fracture claviculaire ou de la première côte ou présence d'une côte cervicale.
- Antécédent de chirurgie du rachis cervical ou d'un nerf périphérique sans amélioration pérenne des symptômes.
- Antécédent de traitement conservateur ou chirurgical ipsilatéral d'un syndrome du défilé.

4- Examen clinique :

- Sensibilité à la palpation du triangle scalénique et/ou de l'espace sous coracoïde.
- Paresthésie du bras, de la main ou des doigts provoquée à la palpation du triangle scalénique ou de l'espace sous coracoïde.
- Faiblesse objective de la préhension ou des muscles intrinsèques ; ou amyotrophie de la loge thénarienne ou hypothénarienne (« Gilliat Sumner hand » (21) ).

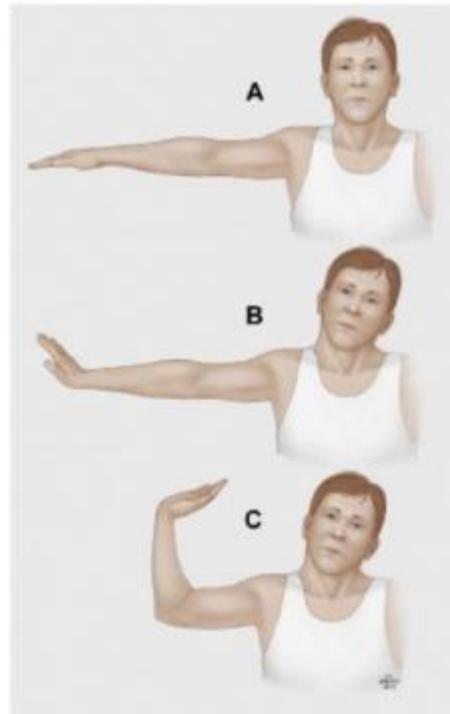
5- Manœuvres de provocation :

- Upper Limb Tension Test (ULTT)
- Elevated Arm Stress Test (EAST) (aussi appelé manœuvre de Ross)

Ces deux manœuvres sont illustrées ci-dessous (22)



**Fig 6.** Elevated arm stress test (EAST). This test is used to assess symptoms caused by narrowing of the scalene triangle. The “stress” refers to the fact that the arms are abducted 90 degrees, elbows bent, and brought backwards. The hands are usually briskly opened and closed for up to 3 minutes in this position, although this is not strictly necessary; a positive test result is represented by reproduction of local or distal pain and neurologic symptoms. (By permission of Mayo Foundation for Medical Education and Research. All rights reserved.)



**Fig 7.** Upper limb tension test (ULTT). This test is used to assess symptoms caused by stretch of the brachial plexus; the head is turned away from the side being tested (A and B). A positive test result is represented by reproduction of peripheral pain or neurologic symptoms (B); symptoms only with bending of the elbow (C) may indicate cubital tunnel syndrome. (By permission of Mayo Foundation for Medical Education and Research. All rights reserved.)

Il existe de nombreuses autres manœuvres, comme la manœuvre d’Adson qui recherche l’abolition du pouls radial ou la manœuvre de Wright. Elles peuvent venir compléter l’examen clinique. L’association de ces tests cliniques augmente leurs performances diagnostiques (23) mais elles ne peuvent en aucun cas être utilisées seules pour poser le diagnostic (24).

## 2. Diagnostics différentiels

Les diagnostics différentiels sont essentiels à éliminer dans la démarche diagnostique. On retrouve en tête de liste la névralgie cervico-brachiale, les tendinopathies de la coiffe des rotateurs et des épicondyliens, et la capsulite rétractile.

D’autres pathologies douloureuses chroniques peuvent se confondre avec le NTOS comme le syndrome régional douloureux complexe (SDRC), la fibromyalgie ou l’hyperalgésie liée aux opioïdes. Les syndromes canaux du nerf ulnaire et médian sont également à rechercher. On ne connaît pas précisément la prévalence de l’association du NTOS et des

syndromes canaux, mais lorsque les deux sont présents, on parle de « double crush syndrome » comme évoqué précédemment (25,26).

### 3. Les examens complémentaires

Il n'existe pas d'examens complémentaires spécifiques du NTOS. Ces derniers n'en restent pas moins essentiels dans la démarche diagnostique, notamment pour éliminer d'autres pathologies. La précision de l'imagerie moderne, associée à une anamnèse et un examen clinique rigoureux, apporte des informations sur la localisation du ou des conflits dans la traversée thoraco-brachiale et permet ainsi d'orienter la prise en charge thérapeutique.

- La radiographie thoracique et cervicale permet d'identifier une côte cervicale, et de dépister toute autre anomalie osseuse (cal vicieux, maladie de Paget) voire un processus tumoral (27).
- La tomodensitométrie revêt un intérêt moindre dans le NTOS. C'est son caractère injecté avec angiographie en position anatomique puis en hyperabduction qui mettra en évidence une éventuelle compression vasculaire. Son analyse précise des rapports anatomiques en coupes fines sera intéressante avant une prise en charge chirurgicale (22).
- L'échographie haute définition est facilement accessible mais opérateur dépendant. Son intérêt est limité dans l'analyse de cette zone anatomique. Il a été décrit le signe du « wedge-sickle sign (WSS) » correspondant à une bande fibreuse au niveau du scalène moyen comprimant la partie inférieure du plexus brachial (28). Le couplage au Doppler en revanche est largement utilisé dans le diagnostic du TOS artériel et veineux. Ses propriétés psychométriques concernant le diagnostic de NTOS sont en revanche assez faibles avec une sensibilité et une spécificité respectives de 54,5 et 67% (29).
- L'IRM est principalement utilisée pour éliminer une névralgie cervico-brachiale. Elle retrouve parfois un œdème autour du plexus brachial. On peut également retrouver

de multiples anomalies aspécifiques telles que des brides, des bandes fibreuses ou des muscles accessoires. La concordance radio-clinique de ces variations anatomiques reste cependant assez faible (30).

- L'électrophysiologie n'a pas montré de nette modification électroneuromyographique spécifique du NTOS. Lorsqu'il est réalisé, l'ENMG peut montrer une diminution d'amplitude du potentiel sensitif du nerf cutané médial antébrachial (31).
- Le bloc scalène, réalisé par injection de lidocaïne généralement dans les muscles scalènes antérieur et moyen a démontré son intérêt dans le diagnostic avec des séries de cas où les symptômes étaient soulagés et les paramètres de force améliorés (32). Ce test peut également avoir un intérêt pronostique de la chirurgie (33).
- La mesure de force de préhension et de la pince pouce index à l'aide de dynamomètre hydraulique revêt également un intérêt dans le bilan initial dans la mesure où elle reflète la force des intrinsèques (critère du CORE-TOS) et qu'il a été démontré un déficit significatif dans le NTOS (34). Il en va de même pour la mesure de force proximal avec les rotateurs d'épaules à l'aide d'un dynamomètre isocinétique, qui a cependant une accessibilité moindre (35).

#### E. Prise en charge thérapeutique

Après évaluation minutieuse en consultation par un praticien expérimenté, le traitement de première intention est avant tout rééducatif (36,37). Selon la sévérité et le retentissement socio-professionnel cette prise en charge peut se faire en centre de rééducation ou en externe et se veut multimodale avec une prise en charge globale et personnalisée du patient comprenant de la kinésithérapie, de l'ergothérapie, de l'activité physique et un soutien psychologique. L'éducation du patient à sa pathologie et l'apprentissage d'auto-exercices doivent également faire partie du programme de soins.

C'est le protocole de Peet qui a été décrit en premier en 1956 à la Mayo Clinic (38), basé sur l'anatomie fonctionnelle et l'ouverture des espaces du défilé par des massages décontracturants et de renforcement musculaire des éleveurs des épaules et des muscles posturaux de la ceinture scapulo-cervico-dorsale. Ce protocole a été depuis remis en cause sur le plan biomécanique, et de nombreuses autres méthodes ont vu le jour et tenté de prouver leur efficacité.

Il n'a pas été démontré à ce jour de programme de kinésithérapie supérieur à un autre dans cette revue de la littérature de Vanti et al (37). En revanche, cette dernière met en évidence une efficacité sur les symptômes de 76 à 100 % dans le mois suivant la rééducation initiale, et de 59 à 88 % après plus d'un an.

Malgré le nombre important de protocoles différents dans la littérature, il semble tout de même tous décrire une phase décontracturante, puis une phase de rééducation posturale (39). La phase décontracturante va viser les muscles dits « fermeurs » comme les scalènes et le petit pectoral en premier lieu. On étirera également le muscle sous clavier, le grand pectoral, le grand et petit rond, le deltoïde postérieur et le sous-scapulaire(16). A l'inverse la phase de rééducation posturale s'astreindra à renforcer les muscles « ouvreurs » avec le trapèze supérieur, l'angulaire de l'omoplate, le sterno-cléido-mastoïdien et le grand dentelé. Ces muscles sont impliqués dans le tonus de la ceinture scapulo-cervico-dorsale souvent mis à mal par des postures vicieuses quotidiennes et des gestes répétitifs qu'il conviendra de corriger avec des exercices de respiration et des aménagements adaptés dans la vie quotidienne et professionnelle.

Lorsque cette prise en charge rééducative correctement conduite est mise en défaut et que les symptômes persistent à moyen terme, il pourra alors se discuter la chirurgie de décompression.

## II. Justificatif de l'étude

### A. Le déficit de force musculaire dans le NTOS

La perte de force, ou la faiblesse, du membre supérieur est un symptôme très fréquemment décrit par les patients et fait parties des critères diagnostics (20). Afin que ce symptôme ne soit pas subjectif, il existe des instruments de mesure permettant de quantifier cette perte de force. Plusieurs travaux menés par Fouasson-Chailloux et al. et Daley et al. ont démontré un déficit de force objectif significatif :

- D'une part distale avec mesure de la préhension à l'aide d'un dynamomètre hydraulique de type *JAMAR* ; et de la pince à l'aide d'un *Pinch Gauge* (34). L'étude montre respectivement un déficit de 30% pour la préhension et de 19% pour la pince, comparé à un groupe contrôle sain.
- D'autre part proximale, sur les rotateurs d'épaules, mesurés sur dynamomètre isocinétique (35). Le déficit a été mesuré à 21% sur les rotateurs médiaux et à 29% sur les rotateurs latéraux à une vitesse angulaire de 60°/s, toujours comparé à un groupe contrôle sain.

Ces travaux ont démontré l'intérêt de l'évaluation de la force musculaire à la phase initiale qui permet de donner des éléments clés pour la prise en charge thérapeutique, et plus particulièrement la rééducation.

## B. Instruments de mesure de la force musculaire

### 1. Isocinétisme

Le dynamomètre isocinétique est aujourd'hui considéré comme le « Gold Standard » pour l'évaluation de la force musculaire (40). Il permet de mesurer le couple de force en Newton.mètre (N.m) à des vitesses angulaires et des amplitudes données. Son utilisation dans l'évaluation des muscles de l'épaule a largement été étudiée et validée (41–43).

Il apparait donc comme l'examen de choix pour l'évaluation d'un déficit musculaire, y compris dans le NTOS. Il comporte néanmoins des inconvénients tant par sa dimension que par son coût important. Son utilisation requiert un examinateur expérimenté et un temps de réalisation non négligeable. De plus, c'est un dispositif que l'on ne retrouve que très rarement disponible en dehors de l'hôpital.



Photo 1 - Installation du patient sur le dynamomètre isocinétique pour la mesure de force des rotateurs d'épaules

## 2. Dynamomètre manuel

Le dynamomètre manuel, autre dispositif permettant d'évaluer la force musculaire, dispose de propriétés psychométriques moins performantes que l'ergomètre isocinétique (44). Il permet de mesurer la force maximale isométrique d'un muscle ou d'un groupe de muscles en Newton (N).

En revanche, c'est un appareil peu coûteux, facile et rapide d'utilisation et largement disponible en dehors de grande structure de soins. Son utilisation a été étudiée et validée dans l'évaluation des rotateurs d'épaules (45,46).

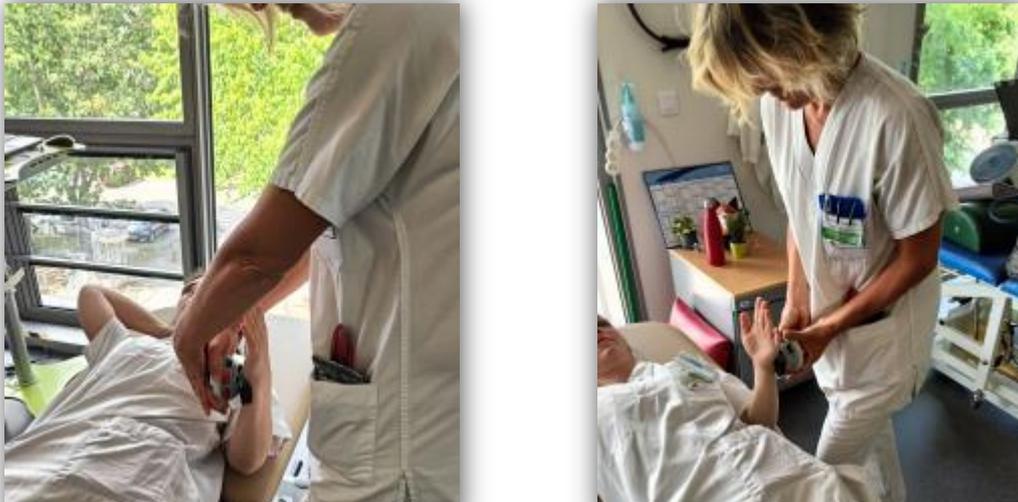


Photo 2 - Installation du patient et positionnement de l'évaluateur pour la mesure de force isométrique avec dynamomètre manuel / rotateur interne (gauche) / rotateur externe (droite)

### C. Hypothèse

A la lumière de ces constatations et études déjà menées sur l'évaluation de la force musculaire dans le défilé thoraco-brachial neurogène, il est pertinent de se poser les questions suivantes :

- Peut-on objectiver le déficit de force proximale à l'aide d'un dynamomètre manuel ?
- Le cas échéant, cet examen peut-il se substituer à l'évaluation isocinétique ?

## III. Comparaison des deux méthodes de mesure de la force musculaire

### A. Cadre de l'étude

Nous avons donc monté une étude à partir d'une cohorte prospective réalisée au CHU de Nantes. 60 patients ont été inclus avec un diagnostic de NTOS unilatéral adressé pour rééducation en centre. Ils ont tous bénéficié d'une évaluation de force musculaire des rotateurs d'épaules avec dynamomètre isocinétique et dynamomètre manuel.

### B. Article en anglais

L'article issu de cette étude est retranscrit ci-après dans sa version anglaise :

## **Are handheld dynamometers suitable alternatives to isokinetic devices to assess weakness of the shoulder rotators in neurogenic thoracic outlet syndrome?**

### **Abstract**

**Background:** Patients with neurogenic thoracic outlet syndrome (NTOS) often complain of chronic pain and weakness of the upper-limb. This weakness affects the entire limb, especially the shoulder. Isokinetic dynamometers are accurate and reliable devices to evaluate shoulder rotators strength. However, these tools are expensive and often only available in hospitals settings. On the contrary, handheld dynamometers are considered low cost and easy to use.

**Objective:** We aimed to assess the correlations between a handheld dynamometer and an isokinetic dynamometer, regarding strength evaluation in patients with NTOS.

**Design:** Prospective cohort study.

**Setting:** Physical Medicine and Rehabilitation department of a University Hospital.

**Patients:** Patients with unilateral NTOS assessed at the beginning of an inpatient rehabilitation program.

**Main outcome measures:** Evaluation of the shoulder rotators strength at 60 and 180°/s with an isokinetic device, and maximal isometric strength assessment with a handheld dynamometer.

**Results:** Sixty patients were included, 70% were women with a mean age of  $38.1 \pm 9.5$ . Symptomatic limbs presented a strength deficit of 15.9% for medial rotators ( $p < 0.0001$ ) and 12.9% for lateral rotators ( $p < 0.0001$ ) compared to asymptomatic sides. There were moderate correlations between isokinetic testing at 60°/s and handheld dynamometer measures concerning internal rotation ( $r^2 = 0.542$  and  $r = 0.610$ ) and external rotation ( $r^2 = 0.558$  and  $r^2 = 0.526$ ) for symptomatic and asymptomatic sides, respectively ( $p < 0.001$ ). Agreements between the two methods apparently decreased while the force increased.

**Conclusions:** Handheld dynamometer could prove useful to evaluate shoulder strength deficit in NTOS in clinical practice, especially for outpatient management. Yet, Isokinetic testing remains the reference for accurate evaluations, and should be favored in case of pre-therapeutic assessment.

**Keywords:** Thoracic Outlet Syndrome; Strength; Isokinetic; Isometric; Neurogenic; Dynamometer.

## INTRODUCTION

Thoracic outlet syndrome (TOS) is a rather rare chronic and painful condition (5,47), related to the compression of the upper-limb neurovascular bundle (4). There are three types of TOS depending on the structure affected by the compression: Arterial, Venous and Neurogenic (36). The neurogenic thoracic outlet syndrome (NTOS) is the most frequent (>90%) (4,36). It is responsible for chronic pain, paresthesia and weakness of the upper-limb due to intermittent compression of the brachial plexus at the scalene triangle, between the first rib and the clavicle or at the sub-coracoid space levels (7,9,48). Women are mostly affected (70%) at around 40 years old (6,7). Symptoms are often responsible for social and professional impairment (48). NTOS is a challenging diagnosis due to the heterogeneity of symptoms and the lack of specific complementary exams (4,24,29,31,49). Yet, some dedicated guidelines help clinicians diagnose NTOS (19,20).

A weakness or strength deficit is mainly reported by patients and is part of the diagnostic criteria (20,50,51). It affects the entire upper-limb, especially the hand and the shoulder. Therefore, Fouasson-Chailloux et al. (34) and Daley et al. (35) respectively, confirmed a significant strength deficit of the hand and of the shoulder rotators. These two studies highlighted the interest of strength evaluation in patients with NTOS. Isokinetic strength evaluation provides accurate and reliable data for medial and lateral shoulder rotators (42,43,52). However, it requires time, expensive tools and experienced practitioners, and usually is only available in hospital settings (53). On the contrary, handheld dynamometers are more affordable, with convenient sizes and easy to use (44). They have been previously used to measure maximum isometric strength of shoulder rotators with good accuracy and reliability (46).

Some studies suggested high correlations between isokinetic shoulder strength and maximum isometric strength measured with a handheld dynamometer. Nevertheless, it concerned small groups of healthy participants or athletes (45,54). So, we aimed to assess the correlations between handheld dynamometer (HHD) and isokinetic evaluations regarding shoulder rotators strength in patients with NTOS, to determine whether HHD could be routinely used in this specific population.

## **METHODS**

### **Population**

Patients with unilateral NTOS were recruited from May 2020 to July 2022. They had been addressed for inpatient rehabilitation programs in case of ineffective outpatient physiotherapy and severe impairment. Patients fulfilled NTOS diagnostic criteria according to the Consortium for Research and Education on thoracic outlet syndrome (20). Exclusion criteria were: age < 18 years old, upper-limb musculoskeletal disorders, cervical-brachial neuralgia, other entrapment neuropathy of the upper limb (31,55). After inclusion, all the patients performed a strength assessment, including shoulder isokinetic testing of lateral and medial rotators, and maximal isometric testing of the rotator cuff with a handheld dynamometer.

This study was part of a protocol previously approved by the Committee of Ethics, and was registered on ClinicalTrials.gov. All the patients gave verbal consent to be included in the study. As the study did not modify patients' usual care, no written consent was needed.

### **Isokinetic Evaluations**

Isokinetic tests were performed as previously described (35). After a 5 minutes warm-up with an arm cranking ergometer (Ergoselect© 400, Ergoline, Bitz, Germany), isokinetic strength tests were performed with a HumacNorm© dynamometer (CSMI, Stoughton, MA, USA). The medial and lateral rotations were performed in the scapular plane in sitting position with amplitudes of 65 and 35°, respectively (41). The testing always began by the non-symptomatic shoulder, with 5 sub-maximal repetitions at 240°/s for familiarization with the isokinetic movement. Then, the subjects performed 3 repetitions of concentric medial and lateral shoulder rotations at 60°/s, followed by 5 repetitions at 180°/s. Between the series, patients had a recovery period of 20 seconds. We considered the maximal peak torque (Nm) at the 2 different angular speeds (60°/s and 180°/s). The reliability established by intra-class correlation coefficient of the concentric isokinetic peak torque at 60°/s is excellent on medial rotation and lateral rotation (43). The reliability of the concentric isokinetic peak torque at 180°/s is good to excellent (35).

### **Handheld dynamometer evaluations**

Isometric measurements were evaluated with a wireless microFET<sup>®</sup>2 Digital Handheld Dynamometer (Hoggan health, Draper, UT, USA). Patients were assessed in supine positions, the arm in the scapular plane and the elbow flexed at 90°. The examiner did not use external fixation devices. Maximal isometric strength was evaluated for medial and lateral rotators of the shoulder performed with the break-test method: the examiner holds the dynamometer against the hand of the patient who exerts pressure up to a rupture point, which is considered the maximal isometric strength. Intrarater reliability for HHD established by Bin Chen et al. is good and excellent for lateral and medial rotators, respectively (46). Interrater reliability is good for medial rotators and excellent for lateral rotators. It was also established that intrarater reliability was not affected by the body position (sit, prone or supine) (56).

### **QuickDASH questionnaires**

At the beginning of the rehabilitation program, patients completed a French version of the QuickDASH, a short version of the DASH questionnaire (Disabilities of the shoulder and Arm) (57). It comprises 11 questions evaluating upper-limb function and symptoms, with a score ranging from 0 (no disability) to 100 (the most severe disability) (58).

### **Statistical Analysis**

Statistical analyses were performed with IBM SPSS 23.0 software (Armonk, NY, USA). Quantitative parameters were presented as mean and standard deviation. The Shapiro-Wilk test was used to assess the normality of the data. To be able to compare the two methods of measurement, isometric strength measured with the HHD in Newtons was expressed in Newton/meter (Nm) according to the equation developed by Mohanty et al. (59), that estimates the length of the forearm of each participant from their height.

Quantitative variable comparisons between symptomatic upper-limbs and asymptomatic upper-limbs were performed with Wilcoxon tests (data were not normally distributed), and qualitative comparisons were performed with  $\chi^2$  tests.

Spearman's correlation coefficients ( $r^2$ ) were calculated to assess the association between the isokinetic strength and the isometric strength with HHD of the shoulder rotators. The interpretation of the coefficient of correlation was: strong ( $r^2 > 0.9$ ); high ( $0.7 <$

$r^2 < 0.9$ ); moderate ( $0.5 < r^2 < 0.7$ ), low ( $0.3 < r^2 < 0.5$ ), negligible ( $r^2 < 0.3$ ). The significance level was set-up at  $p < 0.05$  (60).

Bland and Altman plots were realized to get a visual aspect of the agreements within the two techniques (61). Graphics and figures were performed with GraphPad Prism 7.0 (GraphPad Software, San Diego, CA)

## **RESULTS**

### **Patients Characteristics**

Sixty patients with unilateral NTOS were included. Forty-two (70%) were women and 18 (30%) were men, with a mean age of  $38.1 \pm 9.5$  years old. Their mean height was  $168.3 \pm 8.7$  cm and their mean weight was  $69.6 \pm 16.4$  kg, with a mean body mass index of  $24.4 \pm 4.4$  m<sup>2</sup>/kg.

Forty-nine (82%) patients were symptomatic on their dominant upper-limb and 11 (18%) on their non-dominant upper-limb. Symptoms duration was  $3.0 \pm 2.9$  years, and the mean score of the Quick Dash questionnaire was  $55.9 \pm 14.6$ .

### **Strength assessments of the shoulder rotators**

Symptomatic upper-limbs presented an isokinetic strength deficit on medial and lateral rotators at 60°/s of 12.4% ( $p = 0.0001$ ) and 13.3% ( $p=0.0004$ ), respectively, and for the medial and lateral rotators at 180°/s of 9.8% ( $p=0.002$ ) and 10.8% ( $p=0.003$ ), respectively (Table 1).

Concerning the strength evaluation with the handheld dynamometer, symptomatic limbs presented a deficit for the medial and the lateral rotators of 15.9% ( $p < 0.0001$ ) and 12.9% ( $p<0.0001$ ), respectively.

**Table 1.** Comparison of the shoulder rotators strength between symptomatic upper-limbs and asymptomatic upper-limbs in patients with neurogenic thoracic outlet syndrome.

	<b>Symptomatic upper-limbs (n=60)</b>	<b>Asymptomatic upper-limbs (n=60)</b>	<b>Strength Deficit (%)</b>	<b>p</b>
MR60 (Nm) ± SD	30.6 ± 13.3	34.4 ± 11.9	12.4 %	0.0001
LR60 (Nm) ± SD	13.7 ± 6.7	15.8 ± 6.6	13.3 %	0.0004
MR180 (Nm) ± SD	27.5 ± 11.2	30.5 ± 11.0	9.8 %	0.002
LR180 (Nm) ± SD	13.2 ± 5.2	14.8 ± 5.2	10.8 %	0.003
MR MF2 (Nm) ± SD	24.7 ± 12.0	29.4 ± 13.4	15.9 %	<0.0001
LR MF2 (Nm) ± SD	24.2 ± 13.5	27.8 ± 13.5	12.9 %	<0.0001

*Abbreviations: SD: Standard deviation; MR60: Medial Rotators at 60°/s; LR60: Lateral Rotators at 60°/s ; MR180 : Medial Rotators at 180°/s ; LR180 : Lateral Rotators at 180°/s ; MR MF2 : Medial Rotators with handheld dynamometer Microfet2 ; LR MF2 : Lateral Rotators with handheld dynamometer Microfet2 ; Nm : Newton/meter.*

#### **Correlations between isokinetic strength and isometric strength for symptomatic and asymptomatic upper-limbs**

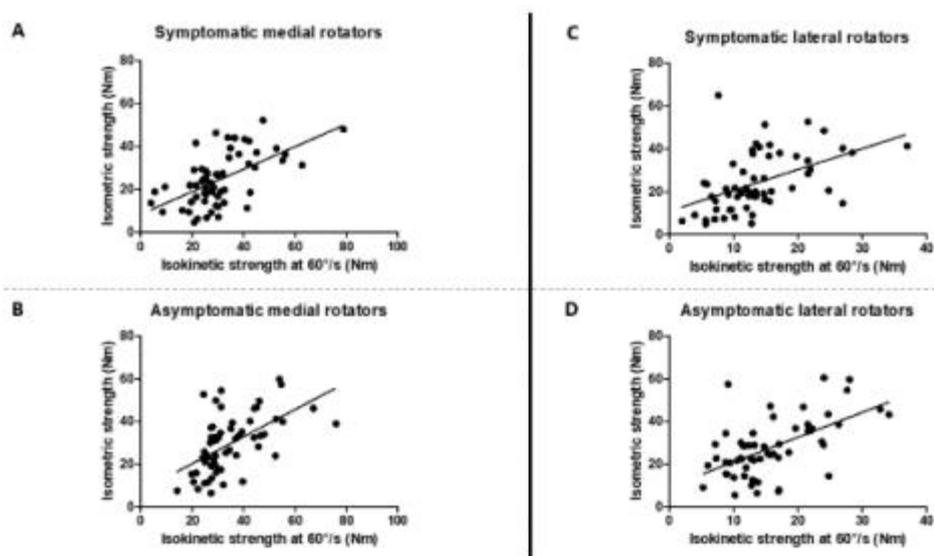
There were moderate correlations between medial rotators isometric strength measured with handheld dynamometer and isokinetic strength at 60°/s for the symptomatic and the asymptomatic limbs:  $r^2 = 0.542$  ( $p < 0.001$ ) and  $r^2 = 0.610$  ( $p < 0.001$ ), respectively. Regarding lateral rotators, there were moderate correlations between isometric and isokinetic strength at 60°/s for symptomatic and asymptomatic limbs:  $r^2 = 0.558$  and  $r^2 = 0.526$  ( $p < 0.001$ ), respectively. Medial and lateral rotators isometric strengths assessed with handheld dynamometer were negligibly to lowly correlated with isokinetic strength at 180°/s for both symptomatic and asymptomatic limbs ( $r^2$  ranged from 0.297 to 0.491). These results are detailed in Table 2, and scatter plots with linear regression are provided in Figure 1.

**Table 2.** Correlations between handheld isometric strength and isokinetic strength of the shoulder rotators in patients with neurogenic thoracic outlet syndrome.

	MR60	LR60	MR180	LR180
Symptomatic upper-limbs:				
MR MF2 (Nm)	0.542***		0.297*	
LR MF2 (Nm)		0.558***		0.345**
Asymptomatic upper-limbs:				
MR MF2 (Nm)	0.610***		0.491***	
LR MF2 (Nm)		0.526***		0.410**

Abbreviations: MR60: Medial Rotators at 60°/s; LR60: Lateral Rotators at 60°/s; MR180 : Medial Rotators at 180°/s ; LR180: Lateral Rotators at 180°/s ; MR MF2: Medial Rotators with handheld dynamometer Microfet2; LR MF2: Lateral Rotators with handheld dynamometer Microfet2; Nm: Newton/mete. \* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$ ; \*\*\* $p < 0.001$ .

**Figure 1.** Correlations Scatterplots and linear regression between isometric strength and isokinetic strength in patients with unilateral thoracic outlet syndrome. Abbreviations Nm: Newton/meter.

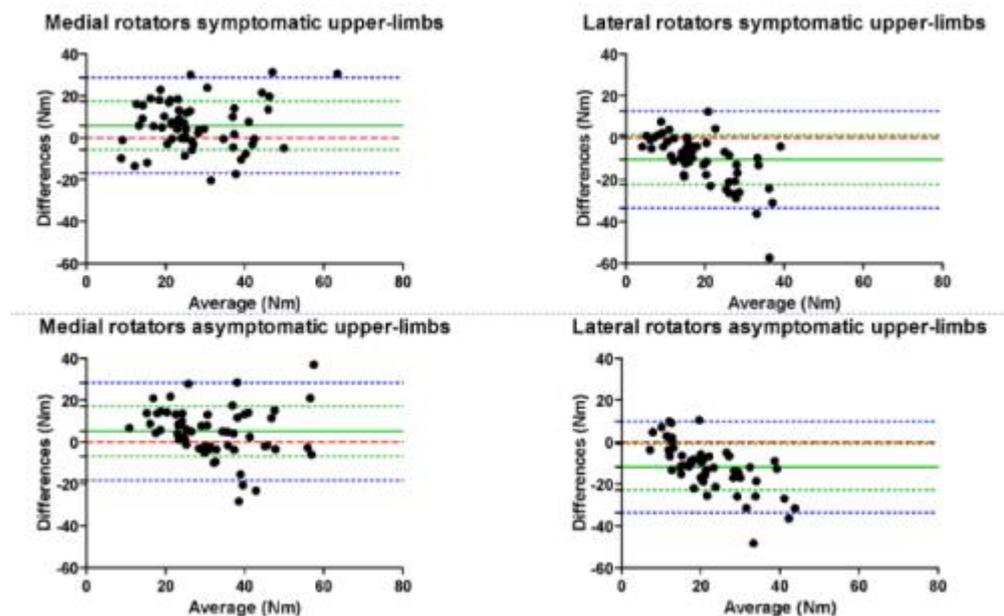


#### Agreement between the two methods and precision

Agreement between the two techniques was provided in the Bland and Altman chart with scatterplots (Figure 2). It showed a mean difference between HHD and isokinetic, which seemed to be less important for the internal rotation than for external rotation, whether the limb was symptomatic or not. Most of the points of the scatterplots stayed in the

correspondence interval, which illustrated an adequate agreement between the two methods. Yet, some points were outside this interval. It highlighted some imprecisions, particularly when the strength increased.

**Figure 2.** Bland and Altman Plots. Bias, which is the mean of the differences between the two methods, is represented as the green full line. Dotted green lines is the correspondent mean of the standard deviation and dotted blue line is the correspondence interval at 95%.



## DISCUSSION

In the present study, we aimed to evaluate the correlation between the use of handheld dynamometers (HHD) and isokinetic devices to assess the proximal upper-limb weakness in patients with NTOS, in order to facilitate clinical practice. Interestingly, our patients' characteristics were fully consistent with NTOS epidemiology, with a women rate of 70% and an average age of 38 years old (6,7). Impairment was also comparable with previous publications as the mean QuickDash score was  $55,9 \pm 14,6$  (34,35,62).

We measured a significant strength deficit of 12,6 % on the medial rotators and 13,3% on the lateral rotators compared with the asymptomatic upper-limb in patients with unilateral NTOS. It was consistent with previous findings of Fouasson-Chailloux et al., who found a strength deficit of 10.3 % and 10.8 % on the medial and lateral rotators, respectively (62). The deficit between symptomatic and asymptomatic upper-limb was also significant for the two measures performed with HHD (15,9% and 12,9%). As we considered isokinetic as the gold standard (42,43,52), HDD strength deficit was here overestimated by only 3.3% for

medial rotators and underestimated by only 0.4% for lateral rotators, which are rather similar results. Yet, we found only moderate significant correlations between the isometric strength with HDD and the isokinetic strength at 60°/s for medial (asymptomatic  $r^2 = 0.610$ ; symptomatic  $r^2 = 0.542$ ) and lateral (asymptomatic  $r^2 = 0.526$ ; symptomatic  $r^2 = 0.558$ ) rotations. Those results should be brought into perspective. Indeed, a systematic review and meta-analysis by Chamorro et al. suggested very high correlations between the two devices for internal and external rotations of the shoulder (45). However, the meta-analysis included only 3 studies for internal rotation and 2 for external rotation. Moreover, in those selected publications, one studied participants, aged between 4 and 17 years old, and the other one used external fixation for HDD, which may lead to better outcomes, but may also complicate the evaluation and can be incompatible with routine clinical practice. Another publication reported good to moderate concurrent validity of HDD with a Pearson correlation coefficient of 0.792 (95% CI, 0.575–0.905) for external rotation and 0.664 (95% CI, 0.419–0.839) for internal rotation in thirty nine healthy young participants (46), which is more in keeping with our findings. Indeed, like us, they did not use external fixation devices. That did not affect intrarater and interrater reliabilities, which remained good to excellent (ICC 0.757– 0.947 and ICC 0.720– 0.954, respectively), allowing a simple protocol, applicable in daily practice.

Bland and Altman plots confirmed an adequate agreement between the 2 methods. Yet, some points were outside the interval of agreement, highlighting some imprecisions, particularly when the strength increased. Indeed, as already described by Stark et al. (44), when the force increases, it may be more difficult for the examiners to stabilize the dynamometer, as they are applying their own strength. Other devices, such as externally-fixed dynamometers exist to measure isometric strength (63). However, it has previously been demonstrated by Holt et al. that HDD are superior to this type of dynamometers for measuring internal and external rotations of the shoulder in active healthy participants (64).

Recently, Fouasson-Chailloux et al. suggested that hand strength evaluation could provide an overall estimation of the upper-limb weakness in patients with NTOS (62). Regarding our findings, grip strength measurement associated to proximal strength evaluation with HDD could easily and quickly assess this upper-limb weakness, with rather inexpensive tools. This could be useful for medical consultations or for outpatient management. However, as the correlations of HDD and isokinetic remained moderate and likely inaccurate for strongest patients, we cannot recommend the use of HDD before inpatient rehabilitation protocols or

surgical interventions. In fact, these latter cases require accurate and reliable evaluations provided by isokinetic testing, so as to enable the physicians to have the most precise follow-up possible.

However, this study has some limitations. Indeed, results might not be generalized to all patients with NTOS as we included only those who were addressed after failure of outpatient physiotherapy. Therefore, we may have studied the most disabled patients. Furthermore, in order to compare precisely the two devices, we had to express variables in the same unit. Thus, measures of maximum isometric strength with HHD expressed in Nm, were made using an equation, which estimated the length of the forearm of the patients from their height (59). So, we cannot exclude some inaccuracies due to this calculation.

## **CONCLUSION**

Patients with unilateral NTOS exhibited a significant weakness of the shoulder rotators on their symptomatic upper-limb compared to their asymptomatic side, both using isokinetic testing and isometric handheld device. Isometric strength was moderately correlated to the corresponding isokinetic peak torque. So, handheld dynamometry may provide an overall estimation of the shoulder weakness in patients with NTOS, particularly for outpatient management and medical consultations, especially since it is easy to use and not expensive. Yet, as the correlations remained moderate, and imprecise for the strongest patients, we still recommend the use of isokinetic dynamometers in case of evaluations before therapeutic management, due to their accuracy.

## IV. Perspectives et Conclusion

Le syndrome du défilé thoraco-brachial reste très méconnu dans la pratique générale. Seuls certains praticiens y sont habitués, et bon nombre de patients sont pris en charge tardivement, parfois après plusieurs années (4).

De nombreux progrès ont été faits sur le plan diagnostique et thérapeutique, permettant de mieux appréhender cette pathologie complexe et de l'évoquer plus rapidement.

Ce travail, dans la continuité de ceux menés au CHU de Nantes par Fouasson-Chailloux et al. (34,62) et Daley et al. (35), met en exergue l'intérêt de l'évaluation de la force musculaire dans le NTOS à la prise en charge initiale, que ce soit à l'hôpital ou en cabinet.

La récupération de ce déficit de force après un protocole de rééducation ou un traitement chirurgical n'a pour le moment pas encore été démontrée et devra faire l'objet d'études approfondies. Il existe déjà quelques travaux intéressants qui se sont penchés sur cette problématique. Braun et al. ont démontré une amélioration significative de plusieurs fonctions motrices du membre supérieur après réalisation d'un bloc intramusculaire du scalène antérieur (32). Dans la mesure où il serait mis en évidence une amélioration de ce déficit de force, il sera pertinent de surveiller sa pérennisation à moyen et long terme et surtout sa corrélation avec une amélioration fonctionnelle. Par ailleurs, le suivi de ce déficit de force et de sa réversibilité est également décisif dans la détermination de l'intérêt pronostique de ce paramètre.

Dans le bilan initial il est important de mentionner l'évaluation de la douleur et le statut thymique du patient. Comme cela a déjà été discuté (35), le déficit de force dans le NTOS est plurifactoriel et ne peut pas être exclusivement expliqué par le conflit entre le plexus brachial et les éléments anatomiques. L'association entre la douleur et la diminution de force musculaire aux membres supérieurs est retrouvée dans plusieurs pathologies sans implication du système nerveux périphérique évidente, comme les tendinopathies ou les conflits sous acromiaux (65,66). Il semble également exister une diminution de force controlatérale avec implication du système nerveux central, comme évoqué dans cette revue de la littérature de Heales et al (67). Ces mécanismes restent à élucider dans le NTOS.

De plus, il est démontré une association entre un état dépressif et une diminution de la force de préhension (68). Dans le NTOS, nous avons affaire à des patients présentant des douleurs, un manque de force et une fatigabilité avec pour conséquence une restriction de participation socio-professionnelle non négligeable et pourvoyeuse de troubles anxio-dépressifs. Il peut être pertinent d'étudier le retentissement et le lien entre les troubles anxio-dépressifs et le déficit de force musculaire.

Bon nombre de questionnements persistent dans le domaine complexe du NTOS, que ce soit sur le plan épidémiologique, physiopathologique, diagnostique et thérapeutique. Le champ d'investigation reste encore large afin d'appréhender et familiariser l'ensemble de la communauté médicale et paramédicale à la détection et la prise en charge de ce syndrome.

## V. Bibliographie

1. Coote. GOOD RECOVERY IN THE CASE OF RECENT REMOVAL OF AN EXOSTOSIS FROM THE TRANSVERSE PROCESS OF ONE OF THE CERVICAL VERTEBRAE. *Lancet* (London, England). 27 avr 1861;409.
2. Anatomische Gesellschaft. Anatomischer Anzeiger [Internet]. Jena : G. Fischer; 1886. 778 p. Disponible sur: <http://archive.org/details/anatomischeranze40anat>
3. Telford ED, Stopford JSB. Compression of Lower Trunk of Brachial Plexus by a First Dorsal Rib: 1 avr 1921; Disponible sur: <https://zenodo.org/record/1748285>
4. Sanders RJ, Hammond SL, Rao NM. Diagnosis of thoracic outlet syndrome. *J Vasc Surg.* sept 2007;46(3):601-4.
5. Illig KA, Rodriguez-Zoppi E. How Common Is Thoracic Outlet Syndrome? *Thorac Surg Clin.* 1 févr 2021;31(1):11-7.
6. Novak CB, Mackinnon SE, Patterson GA. Evaluation of patients with thoracic outlet syndrome. *J Hand Surg.* mars 1993;18(2):292-9.
7. Balderman J, Holzem K, Field BJ, Bottros MM, Abuirqeba AA, Vemuri C, et al. Associations between clinical diagnostic criteria and pretreatment patient-reported outcomes measures in a prospective observational cohort of patients with neurogenic thoracic outlet syndrome. *J Vasc Surg.* août 2017;66(2):533-544.e2.
8. Sanders: The surgical anatomy of the scalene triangle - Google Scholar. Disponible sur: [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=The%20surgical%20anatomy%20of%20the%20scalene%20triangle&publication\\_year=1989&author=RJ%20Sanders&author=DB%20Roos](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=The%20surgical%20anatomy%20of%20the%20scalene%20triangle&publication_year=1989&author=RJ%20Sanders&author=DB%20Roos)
9. Sanders R, Annest S. Anatomy of the Thoracic Outlet and Related Structures. In: *Thoracic Outlet Syndrome* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2021. Disponible sur <https://link.springer.com/10.1007/978-3-030-55073-8>
10. Haven H. Neurocirculatory Scalenus Anticus Syndrome in the Presence of Developmental Defects of the First Rib. *Yale J Biol Med.* mai 1939;11(5):443-8.
11. Roos DB. New Concepts of Thoracic Outlet Syndrome that Explain Etiology, Symptoms, Diagnosis, and Treatment. *Vasc Surg.* 1 sept 1979;13(5):313-21.
12. Juvonen T, Satta J, Laitala P, Luukkonen K, Nissinen J. Anomalies at the thoracic outlet are frequent in the general population. *Am J Surg.* 1 juill 1995;170(1):33-7.
13. Sanders RJ, Donahue DM. Pathology and Pathophysiology of NTOS. In: Illig KA, Thompson RW, Freischlag JA, Donahue DM, Jordan SE, Lum YW, et al., éditeurs. *Thoracic Outlet Syndrome*. Cham: Springer International Publishing; 202. p. 53-60. Disponible sur: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-55073-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-55073-8_7)
14. Levine NA, Rigby BR. Thoracic Outlet Syndrome: Biomechanical and Exercise Considerations. *Healthcare.* juin 2018;6(2):68.
15. Garraud T, Pomares G, Daley P, Menu P, Dauty M, Fouasson-Chailloux A. Thoracic Outlet Syndrome in Sport: A Systematic Review. *Front Physiol.* 8 juin 2022;13:838014.
16. Péninou G, Barette G. La rééducation du syndrome de la traversée thoraco-brachiale.
17. J.Y. BOUCHET CR, A. FRANCO. Le syndrome de la traversée thoraco-brachiale et sa rééducation. *Ann Kinésithér.* 1984;

18. Illig KA, Donahue DM. NTOS for the Primary Care Team: When to Consider the Diagnosis? In: Illig KA, Thompson RW, Freischlag JA, Donahue DM, Jordan SE, Lum YW, et al., éditeurs. Thoracic Outlet Syndrome. Cham: Springer International Publishing; 2021. p. 61-5. Disponible sur: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-55073-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-55073-8_8)
19. Weaver ML, Lum YW. New Diagnostic and Treatment Modalities for Neurogenic Thoracic Outlet Syndrome. *Diagnostics*. 27 mai 2017;7(2):28.
20. Thompson RW. Diagnosis of Neurogenic Thoracic Outlet Syndrome: 2016 Consensus Guidelines and Other Strategies. In: Illig KA, Thompson RW, Freischlag JA, Donahue DM, Jordan SE, Lum YW, et al., éditeurs. Thoracic Outlet Syndrome. Cham: Springer International Publishing; 2021. p. 67-97. Disponible sur: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-55073-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-55073-8_9)
21. Matsubara T, Kurokawa K, Sakurai K, Yasutomi H, Yamawaki T. The Gilliatt-Sumner hand: a diagnostic clue of neurogenic thoracic outlet syndrome. *QJM Int J Med*. 1 nov 2018;111(11):831-2.
22. Illig KA, Donahue D, Duncan A, Freischlag J, Gelabert H, Johansen K, et al. Reporting standards of the Society for Vascular Surgery for thoracic outlet syndrome. *J Vasc Surg*. sept 2016;64(3):e23-35.
23. Gillard J, Pérez-Cousin M, Hachulla É, Remy J, Hurtevent JF, Vinckier L, et al. Diagnosing thoracic outlet syndrome: contribution of provocative tests, ultrasonography, electrophysiology, and helical computed tomography in 48 patients. *Joint Bone Spine*. oct 2001;68(5):416-24.
24. Dessureault-Dober I, Bronchti G, Bussi eres A. Diagnostic Accuracy of Clinical Tests for Neurogenic and Vascular Thoracic Outlet Syndrome: A Systematic Review. *J Manipulative Physiol Ther*. nov 2018;41(9):789-99.
25. Upton AM, Mccomas A. THE DOUBLE CRUSH IN NERVE-ENTRAPMENT SYNDROMES. *The Lancet*. 18 ao t 1973;302(7825):359-62.
26. Simpson RL, Fern SA. Multiple compression neuropathies and the double-crush syndrome. *Orthop Clin North Am*. avr 1996;27(2):381-8.
27. Raptis CA, Sridhar S, Thompson RW, Fowler KJ, Bhalla S. Imaging of the Patient with Thoracic Outlet Syndrome. *RadioGraphics*. juill 2016;36(4):984-1000.
28. Ar nyi Z, Csillik A, Böhm J, Schelle T. Ultrasonographic Identification of Fibromuscular Bands Associated with Neurogenic Thoracic Outlet Syndrome: The "Wedge-Sickle" Sign. *Ultrasound Med Biol*. 1 oct 2016;42(10):2357-66.
29. Fouasson-Chailloux A, Menu P, Daley P, Gautier G, Gadbled G, Abraham P, et al. Subclavian Vessel Compression Assessed by Duplex Scanning in Patients with Neurogenic Thoracic Outlet Syndrome and No Vascular Signs. *Diagnostics*. 15 janv 2021;11(1):126.
30. Tejjink SBJ, Pesser N, Goeteyn J, Barnhoorn RJ, van Sambeek MRHM, van Nuenen BFL, et al. General Overview and Diagnostic (Imaging) Techniques for Neurogenic Thoracic Outlet Syndrome. *Diagnostics*. janv 2023;13(9):1625.
31. Daley P, Pomares G, Gross R, Menu P, Dauty M, Fouasson-Chailloux A. Use of Electroneuromyography in the Diagnosis of Neurogenic Thoracic Outlet Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*. janv 2022;11(17):5206.
32. Braun RM, Shah KN, Rechnic M, Doehr S, Woods N. Quantitative Assessment of Scalene Muscle Block for the Diagnosis of Suspected Thoracic Outlet Syndrome. *J Hand Surg*. nov 2015;40(11):2255-61.

33. Lum YW, Brooke BS, Likes K, Modi M, Grunebach H, Christo PJ, et al. Impact of anterior scalene lidocaine blocks on predicting surgical success in older patients with neurogenic thoracic outlet syndrome. *J Vasc Surg.* mai 2012;55(5):1370-5.
34. Fouasson-Chailloux A, Daley P, Menu P, Louguet B, Gadbled G, Bouju Y, et al. Hand Strength Deficit in Patients with Neurogenic Thoracic Outlet Syndrome. *Diagnostics.* 13 mai 2021;11(5):874.
35. Daley P, Pomares G, Menu P, Gadbled G, Dauty M, Fouasson-Chailloux A. Shoulder Isokinetic Strength Deficit in Patients with Neurogenic Thoracic Outlet Syndrome. *Diagnostics.* 24 août 2021;11(9):1529.
36. Jones MR, Prabhakar A, Viswanath O, Urits I, Green JB, Kendrick JB, et al. Thoracic Outlet Syndrome: A Comprehensive Review of Pathophysiology, Diagnosis, and Treatment. *Pain Ther.* juin 2019;8(1):5-18.
37. Vanti C, Natalini L, Romeo A, Tosarelli D, Pillastrini P. Conservative treatment of thoracic outlet syndrome. *Eur MEDICOPHYSICA.* 2006;42.
38. Peet RM, Henriksen JD, Anderson TP, Martin GM. Thoracic-outlet syndrome: evaluation of a therapeutic exercise program. *Proc Staff Meet Mayo Clin.* 2 mai 1956;31(9):281-7.
39. Bouchet JY. Place de la rééducation dans les syndromes du défilé thoraco-brachial : aspect historique. *Mens Prat Tech Kinésithérapeute.* 10 oct 2006;470. Disponible sur: <https://www.ks-mag.com/article/7043-place-de-la-reeducation-dans-les-syndromes-du-defile-thoraco-brachial-aspect-historique>
40. Elsevier Masson SAS. Guide d'isocinétisme | Livre + Compl. | 9782294745911. Disponible sur: <https://www.elsevier-masson.fr/guide-disocinetisme-9782294745911.html>
41. Edouard P, Samozino P, Julia M, Cervera SG, Vanbiervliet W, Calmels P, et al. Reliability of Isokinetic Assessment of Shoulder-Rotator Strength: A Systematic Review of the Effect of Position. *J Sport Rehabil.* août 2011;20(3):367-83.
42. Plotnikoff NA, MacIntyre DL. Test-Retest Reliability of Glenohumeral Internal and External Rotator Strength: *Clin J Sport Med.* nov 2002;12(6):367-72.
43. Dauty M, Delbrouck C, Huguet D, Rousseau B, Potiron-Josse M, Dubois C. Reproducibility of concentric and eccentric isokinetic strength of the shoulder rotators in normal subjects 40 to 55 years old. *Isokinet Exerc Sci.* 28 mai 2003;11(2):95-100.
44. Stark T, Walker B, Phillips JK, Fejer R, Beck R. Hand-held Dynamometry Correlation With the Gold Standard Isokinetic Dynamometry: A Systematic Review. *PM&R.* mai 2011;3(5):472-9.
45. Chamorro C, Arancibia M, Trigo B, Arias-Poblete L, Jerez-Mayorga D. Absolute Reliability and Concurrent Validity of Hand-Held Dynamometry in Shoulder Rotator Strength Assessment: Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 3 sept 2021;18(17):9293.
46. Chen B, Liu L, Chen LB, Cao X, Han P, Wang C, et al. Concurrent Validity and Reliability of a Handheld Dynamometer in Measuring Isometric Shoulder Rotational Strength. *J Sport Rehabil.* 19 janv 2021;30(6):965-8.
47. Illig KA, Rodriguez-Zoppi E, Bland T, Muftah M, Jospitre E. The Incidence of Thoracic Outlet Syndrome. *Ann Vasc Surg.* janv 2021;70:263-72.
48. Lindgren KA. Conservative treatment of thoracic outlet syndrome: a 2-year follow-up. *Arch Phys Med Rehabil.* avr 1997;78(4):373-8.
49. Pesser N, Teijink JAW, Vervaart K, Goeteyn J, Gons RAR, van Sambeek MRHM, et al. Value of Ultrasound in the Diagnosis of Neurogenic Thoracic Outlet Syndrome. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* mai 2020;59(5):852-3.

50. Ozcakar L. Quantification of the weakness and fatigue in thoracic outlet syndrome with isokinetic measurements. *Br J Sports Med.* 1 mars 2005;39(3):178-81.
51. Sanders RJ, Monsour JW, Gerber WF, Adams WR, Thompson N. Scalenectomy versus first rib resection for treatment of the thoracic outlet syndrome. *Surgery.* janv 1979;85(1):109-21.
52. Codine P, Bernard PL, Pocholle M, Herisson C. Évaluation et rééducation des muscles de l'épaule en isocinétisme : méthodologie, résultats et applications. *Ann Réadapt Médecine Phys.* mars 2005;48(2):80-92.
53. Agostini F, Bernetti A, Di Giacomo G, Viva MG, Paoloni M, Mangone M, et al. Rehabilitative Good Practices in the Treatment of Sarcopenia: A Narrative Review. *Am J Phys Med Rehabil.* mars 2021;100(3):280.
54. Croteau F, Robbins SM, Pearsall D. Hand-Held Shoulder Strength Measures Correlate With Isokinetic Dynamometry in Elite Water Polo Players. *J Sport Rehabil.* 1 nov 2021;30(8):1233-6.
55. Machanic BI, Sanders RJ. Medial Antebrachial Cutaneous Nerve Measurements to Diagnose Neurogenic Thoracic Outlet Syndrome. *Ann Vasc Surg.* mars 2008;22(2):248-54.
56. McLaine SJ, Ginn KA, Kitic CM, Fell JW, Bird ML. The Reliability of Strength Tests Performed In Elevated Shoulder Positions Using a Handheld Dynamometer. *J Sport Rehabil [Internet].* 1 mai 2016 [cité 16 févr 2023];25(2). Disponible sur: <https://journals.humankinetics.com/view/journals/jsr/25/2/article-jsr.2015-0034.xml.xml>
57. Fayad F, Lefevre-Colau MM, Macé Y, Fermanian J, Mayoux-Benhamou A, Roren A, et al. Validation of the French version of the Disability of the Arm, Shoulder and Hand questionnaire (F-DASH). *Joint Bone Spine.* mars 2008;75(2):195-200.
58. Fayad F, Lefevre-Colau MM, Gautheron V, Macé Y, Fermanian J, Mayoux-Benhamou A, et al. Reliability, validity and responsiveness of the French version of the questionnaire Quick Disability of the Arm, Shoulder and Hand in shoulder disorders. *Man Ther.* avr 2009;14(2):206-12.
59. Mohanty BB, Agrawal D, Mishra K, Samantsinghar P, Chinara PK. Estimation of height of an individual from forearm length on the population of Eastern India.
60. Mukaka M. A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. *Malawi Med J J Med Assoc Malawi.* sept 2012;24(3):69-71.
61. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet Lond Engl.* 8 févr 1986;1(8476):307-10.
62. Fouasson-Chailloux A, Daley P, Menu P, Gadbled G, Bouju Y, Gautier G, et al. Use of hand hydraulic dynamometers as an overall evaluation of the upper-limb weakness in patients with thoracic outlet syndrome. *Front Neurol.* 15 août 2022;13:919312.
63. Kaleem, Raza S, Moiz JA, Iqbal M, Verma S. Reliability and Validity of EN-TreeM Dynamometer for Measurement of Shoulder Rotator Strength in Volleyball Players. *J Clin Diagn Res JCDR.* mars 2016;10(3):YC05-9.
64. Holt KL, Raper DP, Boettcher CE, Waddington GS, Drew MK. Hand-held dynamometry strength measures for internal and external rotation demonstrate superior reliability, lower minimal detectable change and higher correlation to isokinetic dynamometry than externally-fixed dynamometry of the shoulder. *Phys Ther Sport.* sept 2016;21:75-81.
65. Houry M, Bonnard M, Tourny C, Gilliaux M. Kinematic, electromyographic and isokinetic measurements for the management of shoulder subacromial pain syndrome: A systematic review. *Clin Biomech Bristol Avon.* juill 2023;107:106029.

66. Forthomme B, Wieczorek V, Frisch A, Crielaard JM, Croisier JL. Shoulder pain among high-level volleyball players and preseason features. *Med Sci Sports Exerc.* oct 2013;45(10):1852-60.
67. Heales LJ, Lim ECW, Hodges PW, Vicenzino B. Sensory and motor deficits exist on the non-injured side of patients with unilateral tendon pain and disability--implications for central nervous system involvement: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med.* oct 2014;48(19):1400-6.
68. Brooks JM, Titus AJ, Bruce ML, Orzechowski NM, Mackenzie TA, Bartels SJ, et al. Depression and Handgrip Strength Among U.S. Adults Aged 60 Years and Older from NHANES 2011-2014. *J Nutr Health Aging.* 2018;22(8):938-43.

## VI. Annexes

- Questionnaires QuickDASH

1

**Quick DASH**

**1** Veuillez évaluer vos possibilités d'effectuer les activités suivantes au cours des 7 derniers jours en entourant le chiffre placé sous la réponse appropriée

	Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté moyenne	Difficulté importante	Impossible
1. Dévisser un couvercle serré ou neuf	1	2	3	4	5
2. Effectuer des tâches ménagères lourdes (nettoyage des sols ou des murs)	1	2	3	4	5
3. Porter des sacs de provisions ou une mallette	1	2	3	4	5
4. Se laver le dos	1	2	3	4	5
5. Couper la nourriture avec un couteau	1	2	3	4	5
6. Activités de loisir nécessitant une certaine force ou avec des chocs au niveau de l'épaule du bras ou de la main. (bricolage, tennis, golf, etc.)	1	2	3	4	5

	Pas du tout	Légèrement	Moyennement	Beaucoup	Extrêmement
7. <b>Pendant les 7 derniers jours</b> , à quel point votre épaule, votre bras ou votre main vous a-t-elle gêné dans vos relations avec votre famille, vos amis ou vos voisins ? (entourez une seule réponse)	1	2	3	4	5

	Pas du tout limité	Légèrement limité	Moyennement limité	Très limité	Incapable
8. Avez-vous été limité dans votre travail ou une de vos activités quotidiennes habituelles en raison de problèmes à votre épaule, votre bras ou votre main?	1	2	3	4	5

Veuillez évaluer la sévérité des symptômes suivants **durant les 7 derniers jours**. (entourez une réponse sur chacune des lignes)

	Aucune	Légère	Moyenne	Importante	Extrême
9. Douleur de l'épaule, du bras ou de la main	1	2	3	4	5
10. Picotements ou fourmillements douloureux de l'épaule, du bras ou de la main	1	2	3	4	5

	Pas du tout perturbé	Un peu perturbé	Moyennement perturbé	Très perturbé	Tellement perturbé que je ne peux pas dormir
11. <b>Pendant les 7 derniers jours</b> , votre sommeil a-t-il été perturbé par une douleur de votre épaule, de votre bras ou de votre main ? (entourez une seule réponse)	1	2	3	4	5

**Le score QuickDASH n'est pas valable s'il y a plus d'une réponse manquante.**

**Calcul du score du QuickDASH = ( [somme des n réponses] - 1 ) X 25, où n est égal au nombre de réponses.**

## VII. Abréviation et acronymes

CHU : Centre Hospitalo-Universitaire

CORE-TOS : Consortium for Outcomes Research and Education on Thoracic Outlet Syndrome -  
Consortium pour la recherche et l'enseignement sur le syndrome du défilé thoraco-brachial

EAST: Elevated arm stress test

ENMG: Electroneuromyogramme

HHD : Handheld dynamometer – Dynamomètre manuel

IRM : Imagerie par résonance magnétique

NTOS : Neurogenic Thoracic Outlet Syndrome – Syndrome du défilé thoraco-brachial neurogène

QuickDASH: version simplifié du questionnaire Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand Score

SDRC : Syndrome régional douloureux complexe

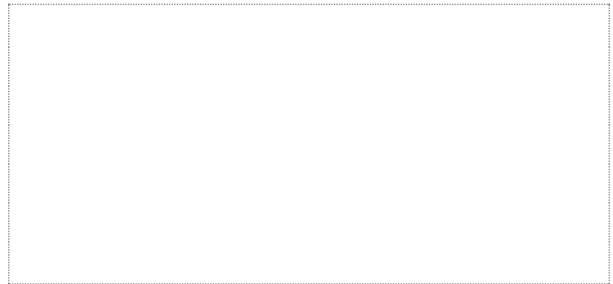
TOS : Thoracic Outlet Syndrome – Syndrome du défilé thoraco-brachial

ULTT: Upper limb tension test

WSS: Wedge sickle sign



**Vu, le Président du Jury,**



Professeur Raphaël GROSS

**Vu, le Directeur de Thèse,**



Docteur Alban FOUASSON-CHAILLOUX

**Vu, le Doyen de la Faculté,**



NOM : LE MERCIER

PRENOM : Emmanuel

**Titre de Thèse :** Le dynamomètre manuel est-il une alternative pertinente au dynamomètre isocinétique pour l'évaluation de la faiblesse des rotateurs d'épaules dans le syndrome du défilé thoraco-brachial neurogène ?

---

### RESUME

Le syndrome du défilé thoraco-brachial est une pathologie douloureuse chronique entraînant une faiblesse du membre supérieur en lien avec une irritation du plexus brachial. Sa présentation clinique est hétérogène rendant son diagnostic et sa prise en charge complexe. Le travail présenté ici sur une cohorte prospective menée au CHU de Nantes compare deux méthodes d'évaluation du déficit de force musculaire proximale du membre supérieur. 60 patients hospitalisés en MPR ont été évalués sur ergomètre isocinétique et dynamomètre manuel avant programme de rééducation. L'étude a permis de démontrer une corrélation modérée entre les deux méthodes. Le dynamomètre manuel s'avère être un outil simple d'utilisation pouvant être utilisé dans la pratique clinique mais restant cependant imprécis avant prise en charge chirurgicale ou protocole de rééducation en centre.

---

### MOTS-CLES

Neurogenic ; thoracic outlet syndrome ; strength ; isokinetic ; isometric ; QuickDASH

Neurologique ; syndrome du défilé thoraco-brachial ; force ; isocinétique ; isométrique ; QuickDASH