Influence de la pratique intensive du violon sur la coiffe des rotateurs, évaluée en isocinétisme

Florie Kuta

▶ **To cite this version:**

Florie Kuta. Influence de la pratique intensive du violon sur la coiffe des rotateurs, évaluée en isocinétisme. Sciences du Vivant [q-bio]. 2021. dumas-03352762

HAL Id: dumas-03352762
https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03352762

Submitted on 23 Sep 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

université de BORDEAUX

U.F.R. DES SCIENCES MEDICALES

Année 2021 Thèse n°3076

THESE POUR L'OBTENTION DU

DIPLOME D'ETAT de DOCTEUR EN MEDECINE

Spécialité Médecine Physique et de Réadaptation

Présentée et soutenue publiquement

Par **Florie KUTA**

Née le 05 septembre 1989 à Thionville (57)

Le 25 juin 2021

Influence de la pratique intensive du violon sur les muscles de la coiffe des rotateurs.

Directeur de thèse
Monsieur le Docteur Jérôme PAPA

Rapporteur
Monsieur le Docteur Bertrand GLIZE (MCU)

Membres du jury :

Monsieur le Professeur Patrick DEHAIL	Président
Monsieur le Docteur Bertrand GLIZE	Rapporteur
Madame le Docteur Hélène CASSOUDESALLE	Juge
Monsieur le Professeur Joël DEHAIS	Juge
Monsieur le Docteur Paul GASSIE	Juge
Monsieur le Docteur Jérôme PAPA	Juge

Remerciements

Merci aux membres du jury pour leur présence, pour leur lecture, ainsi que pour les remarques qu'ils m'adresseront lors de cette soutenance afin d'améliorer mon travail.

A Monsieur le Professeur Patrick DEHAIL, Président de Jury
Je vous suis très reconnaissante de l'honneur que vous me faites en acceptant la présidence du jury de ma thèse. Je veux vous remercier pour vos enseignements et votre bienveillance. Soyez assuré de mon plus grand respect.

A mon rapporteur de thèse, Monsieur le Docteur Bertrand GLIZE
Merci d'avoir accepté de relire mon travail. Ta présence dans ce jury est un honneur.

A Madame le Docteur Hélène CASSOUDESALLE
Je te remercie de l'honneur que tu me fais en acceptant de juger ma thèse. Merci pour ton interêt et ta disponibilité.

A Monsieur le Professeur Joël DEHAIS
Votre présence dans ce jury est un honneur. Votre expertise dans le domaine de la médecine des arts est précieux pour juger ce travail.

A Monsieur le Docteur Paul GASSIE
Ta présence dans ce jury est un honneur. Merci pour tes conseils, et ton soutien depuis le début de mon projet. Tes qualités humaines et médicales sont pour moi un exemple.

A mon directeur de thèse Monsieur le Docteur Jérôme PAPA
Merci d'avoir accepté de diriger ce travail. Je te remercie pour ton intérêt et ton soutien durant la rédaction de ma thèse.

Merci à mes Collègues

Merci aux services que j'ai traversés et qui ont participé à ma formation

A l'équipe médicale et paramédicale de Tastet Girard. Merci au Pr DE-SEZE pour m'avoir permis de découvrir la pathologie rachidienne.

A tous les médecins MPR et rééducateurs de Liège, à tous ces passionnés qui ont partagé avec moi leurs connaissances. Je suis très heureuse d'avoir pu apprendre à vos côtés. Merci aux Pr KAUX et Pr CROISIER, Dr TINANT, Dr KURTH, Dr GODON.

Au service du Dr TRAISSAC à Libourne pour mon premier stage d'interne de MPR.

Au service du Dr VION à Robert Picque, merci pour votre grande générosité et votre bienveillance. Merci à Tiphaine et Coralie.

Au service du Pr DOUARD et à toutes les infirmières du 2e Ouest qui m'ont guidée dans mes premiers pas d'interne.

A l'équipe de neurologie de Mont de Marsan, merci pour ce semestre landais: merci à Elodie, Céline, Alexandre, Basile, Caroline, Rosie.

Au service du Pr PAYSANT à Nancy, chez qui j'ai découvert cette belle spécialité.

Au centre de rééducation de Freyming-Merlebach où j'ai fait mes premiers pas en solo. Merci à Catherine, Laure, Virginie, et toute l'équipe paramédicale.

Au centre de rééducation de Deauville: Odette, Virginie, Meda, Manon, Adrien, Sandrine, Mehdi, Elise, Clémentine, Margaux, Juliette, Pauline, Mélina, Axel, Louise, Marius, et toute l'équipe d'IDE et AS.
Merci encore pour votre accueil chaleureux, je ne suis pas prête d'oublier la Normandie.

Et un grand merci au centre Clemenceau du CHU de Strasbourg pour avoir permis la réalisation de cette étude, merci à Magali pour ses conseils précieux et sa disponibilité, merci à Michèle pour m'avoir accompagnée lors des premiers tests. Merci au personnel du centre qui a accepté de suer pour moi sur la machine d'iso.

Merci à ma famille

Merci à mes parents qui m'ont toujours soutenue et entourée d'amour, et qui ont su me conseiller avec bienveillance à chaque étape de ma vie.

Merci à mon frère Alexis, tu as toujours été là depuis ce fameux jour où je suis arrivée dans ta vie et où tu te demandais si j'allais rester longtemps.

Merci à mes grands-parents,
Lucie et jean qui n'ont pu être là.
Et à Madeleine et Wladislaw partis trop tôt.

Merci à ma tata Nathalie, à Pierre et à mes cousines, Lucie et Eva.

Merci à Pierre pour son aide précieuse dans la réalisation de ma thèse, à Bernadette et leurs enfants.

Merci à Joyce pour nos promenades quotidiennes pendant la rédaction de ma thèse.

Merci à mes amis

A mes amis d'enfance
A Laura, merci pour ton amitié de toujours.
A Tania et Thomas, à nos retrouvailles.
A Alexandra, Lucy Anne, Elsa, pour ces belles années lycée.
A Rudy, Justine, Estelle, Anne, pour nos années fac.

A mes amitiés bordelaises:
A ma promo: Sophie, Louise, Marie, Sylvain Hélène.
A mes co-internes: Pierre-Francois, Maxime F, Florent, Geoffroy, Maxime B, Adeline, Gaël, Martine, Margaux.
A Zoé, Matthieu, Juan et Caroline, Manu et Carine pour nos moments partagés.

A mes amitiés Liégeoises:
A William et Panda pour nos souvenirs inoubliables à l'Alter Ego, Daniel, Andréa, Isa, Duc, Patrick, Philo, Sarah, Oli, Antoine, George, Joanne, Lucas, Cyriac et à toute la famille BAB.
Max et Delphine, merci pour votre générosité et votre amour qui transcendent les frontières.
Mes cokoteurs: Chloé, Vincent, Vanessa, Claire.
Merci à Marie pour nos trajets Liège-Bruxelles
Mes collègues Liégeois: Karim, Christophe, Romain, Damien, Julien L, Julien D, Maëlle, Doriane, Florence, Meike. Merci pour votre accueil chaleureux.

Merci à ma promo de médecine des arts pour cette formation enrichissante: Vincent, Martin, Louison, Morgane, Naouel, Sandra, et toute la promo, Dr ARCIER et son épouse, et à tous nos formateurs passionnés.
En particulier un grand merci à Marc, sans qui ce travail n'aurait pu se faire, merci pour ton aide précieuse et ton implication.

Merci à mes professeurs de musique et de théâtre, d'hier et d'aujourd'hui qui m'ont tous transmis avec passion leur amour de l'art.

Et enfin un grand merci à tous les violonistes de l'orchestre Philharmonique de Strasbourg. Merci pour votre générosité et merci de m'avoir accordé votre confiance. Il me tarde de vous découvrir en concert.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS **2**
TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX **7**
LISTE DES ABREVIATIONS **8**
INTRODUCTION **9**
I. Médecine des arts 9
A. Le musicien, un athlète affectif 9
B. Les pathologies des musiciens 10
C. Facteurs de risque et prévention 11
II. Analyse de jeu du violoniste 14
III. Le complexe de l'épaule 17
A. Stabilisation de l'épaule 17
B. Les principales affections non traumatiques de l'épaule 20
C. Approche physiopathologique 22
IV. Isocinétisme 25
A. Définitions 25
B. Utilisation de l'isocinétisme dans l'évaluation musculaire 26
C. Utilisation de l'isocinéstime dans l'articulation de l'épaule 27
ARTICLE **31**
Abstract 31
Introduction 32
Methods 33
Results 35
Discussion 36
Conclusion 41
References 42
Tables and figures 46
DISCUSSION **55**
PERSPECTIVES **59**
CONCLUSION **60**
APPENDICES **61**
Annexe 1. Position typique de jeu sur chaque corde 61
Annexe 2. Questionnaire Quick Dash 62
Annexe 3. Avis du comité d'éthique 64
BIBLIOGRAPHIE **66**
SERMENT **71**

Table des figures et tableaux

Figure 1. Le complexe articulaire de l'épaule.....17

Figure 2. Schéma de la coiffe des rotateurs.....18

Figure 3. Force de coaptation de la coiffe des rotateurs.....20

Dans l'article :

Figure 1. Isokinetic installation.....47

Figure 2. Boxplot of concentric ER and IR strength values (peak torque) in Newton/Kg and ratios at low (60 /s) and high angular velocity (180 /s) for the dominant and the non-dominant shoulders.....49

Figure 3. Boxplot of concentric ER and IR strength values (peak torque) in Newton/Kg and ratios ER/IR at low (60 /s) and high angular velocity (180 /s) between both groups.....52

Figure 4. Boxplot of Index Fatigue for ER and IR between both groups.....54

Table 1. Main characteristics (means ± s) of the two groups of participants.....46

Table 2. Concentric ER and IR strength values (peak torque) in Nm/Kg and ratios ER/IR at low (60/s) and high angular velocity (180/s) for the dominant and non-dominant shoulders.48

Table 3. Concentric ER and IR strength values (peak torque) in Nm/Kg and ratios ER/IR at low (60 /s) for the dominant and non dominant shoulders between violinists and control.....50

Table 4. Concentric ER and IR strength values (peak torque) in Nm/Kg and ratios ER/IR at high (180 /s) for the dominant and non dominant shoulders between violinists and control...51

Table 5. Fatigue Index between the groups for evaluations at 240°·s-1.....53

Liste des abréviations

En français

TMS: troubles musculo-squelettiques

RI: Rotateurs Internes

RE: Rotateurs Externes

MFM: Moment de Force

Dans l'article en anglais

PRMD: Playing-Related Musculoskeletal Disorders

PT: Peak Torque

IF: Index Fatigue

ER: External Rotators

IR: Internal Rotators

DL: Dominant Limb (right)

NDL: Non Dominant Limb (left)

CG: Control Group

SAS: Sub Acromial Space

Introduction

I. Médecine des arts

La médecine des artistes est une discipline en plein essor née du besoin des musiciens et performeurs (danseurs, chanteurs, plasticiens, circassiens et autres pratiques artistiques) de bénéficier d'une médecine spécialisée prenant en compte les spécificités particulières de leur pratique artistique. Cette discipline récente se développe à travers le monde depuis une trentaine d'années avec la création d'associations et de centres spécialisés.
De la prévention au traitement, le champ d'expertise est large, englobant les pathologies liées à la pratique, l'anxiété de performance, ou encore le risque environnemental inhérent aux arts scéniques. A l'instar de la médecine du sport, la médecine des arts a pour objectif un accompagnement complet et global de l'artiste au cours de sa carrière professionnelle.

A. Le musicien, « un athlète affectif »

Les musiciens professionnels s'apparentent par bien des aspects à des athlètes de haut niveau. Leur pratique requiert la répétition de mouvements complexes et rapides avec un entraînement pouvant aller jusqu'à 6 à 8 heures par jour tous les jours de la semaine, en particulier lors de l'apprentissage d'une nouvelle pièce ou de la préparation d'une performance. Ils ont souvent un emploi du temps chargé entre répétitions, travail personnel, représentations, tournées et ont relativement peu de périodes de repos. Athlètes et instrumentistes peuvent être amenés à jouer dans la douleur et la survenue d'une blessure peut mettre fin à leur carrière. Les objectifs de rééducation sont similaires après une blessure, essentiellement centrés sur le retour sur scène/sur le terrain et la récupération des capacités maximales.

La demande musculo-squelettique et psychologique liée à la pratique musicale professionnelle est importante. Lors d'un concert les violonistes d'orchestre ont habituellement des passages longs et jouent la plupart du temps. Un musicien pourra jouer jusqu'à 20/30 notes par seconde. La difficulté dépendra en grande partie de l'oeuvre exécutée; on peut citer en particulier le concerto pour violon en ré majeur de Tchaïkovski, considéré

comme une des oeuvres les plus difficiles techniquement en raison d'un Allegro Vivacissimo enflammé. La maîtrise de certaines grandes oeuvres du répertoire nécessitera à la fois une grande virtuosité et une grande musicalité que le musicien ne pourra acquérir qu'au prix d'un entrainement intensif. Une bonne condition physique et cardiovasculaire sont également essentielles pour permettre à l'artiste d'arriver au bout de sa performance.

La survenue de douleur ou de pathologie liées à la pratique musicale a longtemps été considérée, dans un univers particulièrement compétitif, comme un signe de faiblesse que ne s'autorisait très peu le musicien professionnel. Léon Fleisher, célèbre pianiste et chef d'orchestre américain, dira lors d'une interview: « Notre époque a développé une médecine de pointe pour le sportif mais a ignoré les musiciens. Et nous trimballons une sorte de honte à avouer nos souffrances physiques comme si nous n'avions pas de corps ». La réticence du musicien à évoquer ses difficultés est un élément important à prendre en considération lors de la prise en charge thérapeutique et conditionnera l'observance et la réussite du traitement.

Une des différences majeures entre l'athlète et le musicien est la durée de la carrière, habituellement plus longue chez le musicien faisant de la prévention et le maintien des capacités physiques optimales un enjeu majeur.

En Médecine du Sport, la prévention des blessures passe par une connaissance approfondie des mécanismes et des facteurs de risque de blessure. La pratique musicale de haut niveau peut à l'instar du domaine sportif conduire à des problèmes de santé spécifiques. Connaitre les contraintes biomécaniques imposées par la pratique musicale est une étape essentielle dans la compréhension du mécanisme lésionnel.

L'evidence based médecine en médecine des arts est encore sous-développée et de nombreuses recherches restent à mener pour améliorer les connaissances concernant la santé du musicien et optimiser leur prise en charge.

B. Prévalence des pathologies des musiciens

Les pathologies liées à la pratique ou playing-related musculoskeletal disorders/PRMD chez les Anglo-Saxons, sont définies comme « une douleur, faiblesse, engourdissement,

picotements ou autres symptômes qui interfèrent avec la capacité de jouer de l'instrument au niveau habituel » (1).

Au cours d'une carrière, entre 62 et 93% des musiciens expérimenteront une pathologie liée à la pratique (2). Les pathologies les plus fréquemment retrouvées sont les troubles musculo-squelettiques (TMS), les pathologies canalaires et la dystonie de fonction (3).

Les TMS recouvrent un large ensemble d'affections de l'appareil locomoteur se traduisant par une gêne fonctionnelle plus ou moins importante lors de la pratique instrumentale (4). La prévalence des TMS au sein d'un orchestre classique est élevée, estimée entre 73.4% à 87.7% (5). Les musiciens à cordes (violon, alto et violoncelle) sont les plus touchés et présentent principalement des pathologies des épaules, du tronc et de l'articulation temporo-mandibulaire (6,7).

Ajidahun et al.(8) retrouvaient dans une étude concernant 7 orchestres classiques une prévalence de TMS chez les violonistes de 44,3% pour la partie supérieure du tronc, de 47,1% pour l'épaule gauche et de 37,1% pour l'épaule droite. L'étude de Susan et Fishbein réalisée sur 2100 musiciens (9), retrouvait chez les violonistes une prévalence de TMS sévères (avec répercussion notable sur la pratique) de 65%, avec 16% à l'épaule droite, et 15% à l'épaule gauche.

Les épaules sont ainsi des zones particulièrement touchées chez le violoniste professionnel pouvant conduire à un arrêt temporaire voire un arrêt définif de la carrière du musicien. On retrouvera en particulier des problèmes de tendinopathie de la coiffe des rotateurs et de conflit sous-acromial (10). L'épaule gauche peut être également le siège d'un syndrome du défilé en raison d'une contraction statique prolongée (3).

C. Facteurs de risque et prévention chez le musicien

Facteurs de risque

Les facteurs de risque des pathologies liées à la pratique musicale peuvent se diviser en deux catégories: intrinsèque et extrinsèque. Les facteurs intrinsèques reconnus, sont en rapport avec les propriétés individuelles du musicien et incluent les critères morphologiques comme la laxité, le sexe féminin, la présence de maladies sous-jacentes ou de blessures précédentes mal ou non traitées, ainsi qu'une anxiété de performance (2, 11, 12, 13).

Les facteurs extrinsèques concernent essentiellement la technique musicale et l'environnement de jeu. Les facteurs de risques liés à la technique englobent une mauvaise posture de jeu, un échauffement insuffisant, l'absence de phase de repos, une augmentation soudaine du temps de jeu, un changement d'instrument ou un instrument inapproprié. L'environnement extérieur peut être en lien avec une mauvaise installation (chaise d'orchestre inadaptée, fosse d'orchestre petite) un mauvais éclairage ou une faible température. Un mauvais état nutritionnel ou l'absence d'activité physique sont également des facteurs de risque de TMS (11,14-17).

Le facteur de risque majeur étant l'augmentation soudaine de temps de jeu (12), les préparations de concours et de performances sont des moments qui se révèlent être particulièrement à risque dans le développement de blessures dans la carrière du musicien et doivent conduire à une attention particulière. Le rythme de vie, alliant tournées et répétitions avec peu de temps de repos, le milieu souvent compétiteur au sein des orchestres, et la forte demande psychologique participent au développement et à l'aggravation des TMS chez le musicien.

Certains facteurs sont modifiables par une prise en charge spécifique comme la posture de jeu, ou l'état physique et psychologique du musicien. Il est du recours des différents thérapeutes lors de la prise en charge du musicien d'identifier ces différents facteurs de risque pour les corriger quand cela est possible. Une prise en charge incomplète avec le maintien d'un comportement à risque contribuent à la persistance ou à la récurrence des symptômes.

Prévention

La prévention des pathologies liées à la pratique se situe sur plusieurs niveaux et implique différents intervenants.

La prévention primaire, passe essentiellement par la correction des facteurs de risque. L'apprentissage d'une posture correcte sans attitude vicieuse et l'enseignement d'habitudes de jeu saines avec des temps de travail et de pause définis sont essentiels. Le professeur de musique occupe la première place dans cette stratégie de prévention et doit pour cela avoir une bonne connaissance de la physiologie.

La prévention secondaire vise à dépister précocement les pathologies, les dysfonctions, les attitudes non physiologiques en recherchant les symptômes précurseurs. Cette prévention

exige une connaissance fine de la séméiologie des troubles du musicien à un stade très précoce ainsi que des signes d'alerte (18).

La prévention tertiaire comprend les tentatives pour restaurer la fonction à son plus haut niveau et prévenir les récidives.

⁂

Les mesures de prévention primaire et secondaire sont les enjeux majeurs de la médecine du musicien et passent par l'amélioration des connaissances des facteurs de risque et des conditions qui concourent aux pathologies induites par la pratique.

Connaitre les exigences physiques de la pratique instrumentale et son impact sur le système musculo-squelettique est une étape essentielle dans la compréhension du mécanisme lésionnel et peut conduire à l'élaboration de programmes individuels pour remédier aux déficits spécifiques en termes de force, de flexibilité et d'endurance musculaire.

II. Analyse de jeu du violoniste

La pratique du violon est possible en position debout ou assise. Les solistes sont habituellement amenés à jouer debout lors d'une représentation mais la plupart des musiciens d'orchestre jouent assis. La norme établie pour jouer du violon veut que l'instrument soit posé sur le côté gauche et que la main droite manie l'archet dans un souci d'harmonie visuelle au sein de l'orchestre.

Le bras de support

La posture nécessite à gauche une ceinture scapulaire stable et en soutien. L'instrument est posé entre la fosse supra-claviculaire et le menton, formant une pince, et soutenu plus distalement par la main gauche. Il est essentiel que la main gauche puisse garder sa liberté pour permettre le déplacement des doigts sur le manche. La tête est tournée vers la gauche avec le cou en flexion latérale gauche. Le musicien peut utiliser une mentonnière ou un coussin pour mieux stabiliser l'instrument et soulager les muscles du cou. L'épaule gauche qui tient une position quasi statique se trouve entre 30°et 50° d'antéflexion avec une rotation externe presque complète et l'avant bras gauche est en supination (19).

Les quatre doigts de la main gauche sont utilisés pour presser les cordes sur le manche. En position haute, lorsque le musicien doit atteindre les notes le plus aigües, le coude et le poignet se retrouvent en hyper flexion avec une extrême supination de l'avant bras (20).

Les études EMG réalisées au niveau du bras de soutien retrouvent une activité continue des muscles trapèze, deltoïde et supra épineux (21). Pour ces muscles, la contraction est essentiellement en mode isométrique. Le biceps et le triceps sont activés plus périodiquement selon la note jouée, en contrôlant les déplacements de la main gauche sur le manche. La pression sur les différentes cordes engage ensuite les fléchisseurs et extenseurs des doigts et la musculature intrinsèque de la main (22-23).

Le jeu d'archet

La technique d'archet consiste à frotter les cordes avec une pression définie en tirant l'archet du talon à la pointe et le repoussant dans un mouvement opposé, de la pointe au talon.

Le bras d'archet, beaucoup plus dynamique que le bras de soutien, présente une variation importante des amplitudes articulaires. En phase de jeu, le violoniste positionnera son bras

selon des angles spécifiques, dépendants de la corde jouée et de la direction de l'archet (Annexe 1). Des études cinématiques ont permis d'observer les combinaisons angulaires pour chaque articulation lors du jeu sur les différentes cordes (22,23,24). L'élévation moyenne de l'épaule augmente de la corde de mi (corde la plus aigüe et médiale) à la corde de sol (corde la plus grave et latérale) avec une association d'abduction et de flexion antérieure. Sur la corde de sol, l'élévation pourra atteindre 176° de flexion antérieure et 110° d'abduction lors des mouvements d'archet (23). Si l'épaule présente une grande variabilité d'amplitudes d'une corde à l'autre, les angles de l'articulation du coude dépendent principalement de la direction de l'archet en permettant le déroulé du mouvement. Le mouvement talon/pointe conduira à une extension pouvant aller jusque 136° et le mouvement pointe/talon à une majoration de la flexion. Le poignet a des mouvements plus fins, et donne toute la précision au geste d'archet.

Pour que l'archet soit au contact des cordes, l'avant bras se retrouve en pronation avec une rotation interne de l'épaule à différents degrés. Davantage de rotation interne est nécessaire pour le jeu sur les cordes graves en particulier lors du mouvement d'archet pointe/talon sur la corde de sol avec une rotation interne pouvant atteindre 80° (23,24). Sur les cordes aigües, c'est l'adduction du bras qui permettra d'ajuster le rapprochement de l'archet vers le manche.

A travers ces études, l'articulation de l'épaule apparait être le déterminant majeur du jeu sur chacune des cordes. Elle sera ainsi particulièrement sollicitée lors des changements de cordes et lors du jeu sur la corde de sol.

Patterns d'activation musculaire:

Les schémas d'activation musculaire du bras d'archet dépendront, tout comme les amplitudes articulaires, de la corde jouée et de la direction de l'archet. Jouer sur la corde de sol conduira à un recrutement plus important des muscles deltoïde, sus épineux et infra épineux (25). Les muscles rotateurs externes sont particulièrement sollicités lors du jeu sur les cordes graves pour soutenir le poids de l'archet et du bras placé alors en élévation/rotation interne. Le jeu sur la corde aigüe de mi engagera principalement les fléchisseurs et extenseurs du coude (22).

Le deltoïde et le biceps brachial sont amenés à travailler régulièrement en excentrique pour contrôler le mouvement d'archet vers le bas, contre la force de gravité.

Une étude récente (25) retrouvait que les muscles de la coiffe des rotateurs étaient activés en permanence tout au long d'une performance de jeu, de façon cyclique, dépendant de la corde et des coups d'archet mais également du tempo avec un recrutement de plus de 18% lors du jeu à tempo rapide.

Les techniques spécifiques d'archet conduisent à des recrutements musculaires spécifiques. Certains mouvements sont particulièrement sollicitant pour les épaules, en particulier la technique du *Spiccato* qui implique de soulever l'archet entre chaque note avec parfois une répétition très rapide de mouvements.

Le corps du musicien

Bien que les membres supérieurs soient les structures les plus sollicitées, tout le corps du violoniste est engagé dans le geste musical. Une bonne posture débute toujours pas un bon ancrage au sol, avec un alignement correct du bassin et du tronc et un bon placement des scapulae. La respiration se doit d'être libre (26). Une posture correcte est un élément essentiel pour un jeu libéré et sans tensions.

⁂

Le geste musical est un mouvement complexe nécessitant un long apprentissage pour acquérir le contrôle moteur nécessaire à la maitrise de l'archet et de l'instrument. L'oreille sera le principal feed-back du musicien permettant d'affiner la technique jusqu'à l'obtention du son désiré. La musicalité de l'artiste permettra ensuite de donner toute la beauté à ce geste technique.

Le violon est une pratique asymétrique engageant de façon majeure les membres supérieurs selon des modalités différentes. Par le rôle prépondérant de l'épaule dans le jeu d'archet à droite et de support à gauche, la coiffe des rotateurs est une structure fortement sollicitée. Son intégrité est essentielle pour prévenir les pathologies du membre supérieur car elle intervient dans le maintien de l'équilibre bio-mécanique et la stabilisation de l'articulation de l'épaule.

III. Complexe de l'épaule

A. Stabilisation de l'épaule

L'épaule est un système complexe, comprenant trois articulations vraies (gléno-humérale, acromio-claviculaire, et sterno-claviculaire) ainsi que deux espaces de glissement (l'articulation scapulo-thoracique et l'espace sous acromial). Les différentes articulations interviennent à des degrés variables lors de la mobilisation de l'épaule et du bras.

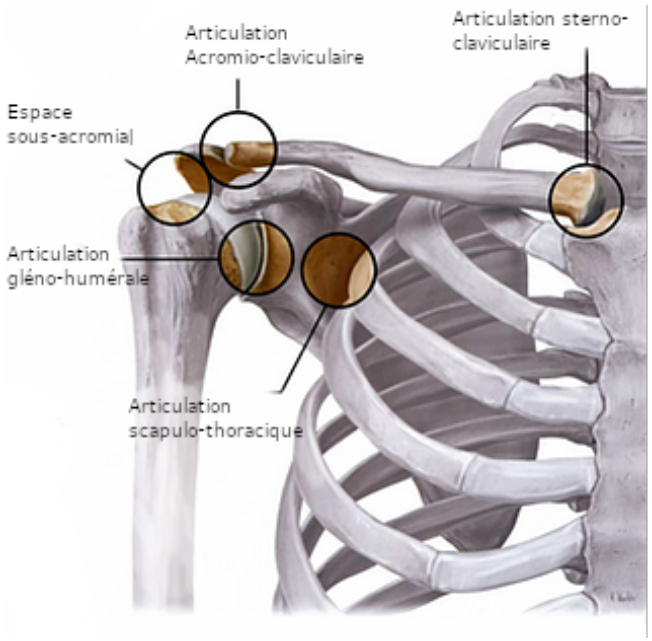


Figure 1. Le complexe articulaire de l'épaule.
D'après THIEME Atlas of Anatomy.

Au sein du complexe articulaire de l'épaule, l'articulation gléno-humérale est la plus mobile, permettant de réaliser des mouvements de circumduction. Elle permet une abduction sur 90° (les 90° restants sont liés à la mobilité de la scapulo thoracique et l'inclinaison du rachis) une rotation externe et interne de 80°, une flexion antérieure de 180° et une extension de 40°. Cette grande mobilité l'exposant à une instabilité importante, une stabilisation efficace et une bonne congruence sont nécessaires pour conserver une épaule saine et fonctionnelle. La stabilité primaire de l'articulation gléno-humérale est définie par une forme passive et active permettant de maintenir la tête humérale au centre de la cavité glénoïdale (27).

La stabilisation statique est assurée par la concavité de la glène, la capsule articulaire et le bourrelet qui augmentent la surface de contact entre la tête humérale et la glène, les ligaments gléno-huméraux (supérieur, moyen et inférieur) ainsi que par la pression négative intra-articulaire. Les ligaments et la capsule ont une action stabilisatrice par leur mise en tension dans les amplitudes extrêmes.

La stabilisation dynamique est permise principalement grâce à l'action synergique de deux groupes musculaire: (28)

- Les muscles coapteurs transversaux qui assurent le centrage antéro-postérieur. Ce sont les muscles de la coiffe des rotateurs (Figure 2).
- Les muscles coapteurs longitudinaux qui permettent le centrage supéro-inférieur de la tête humérale. Ce sont le deltoïde, le triceps brachial, le tendon du long biceps, le coraco-brachial et le grand pectoral.

Les muscles stabilisateurs de l'omoplate (rhomboïdes, angulaire de l'omoplate, dentelé antérieur, trapèze) sont également des stabilisateurs dynamiques de l'épaule en permettant d'orienter la glène par rapport à l'humérus. La scapula participe à la stabilité proximale du membre supérieur et permet une mobilité distale de qualité.

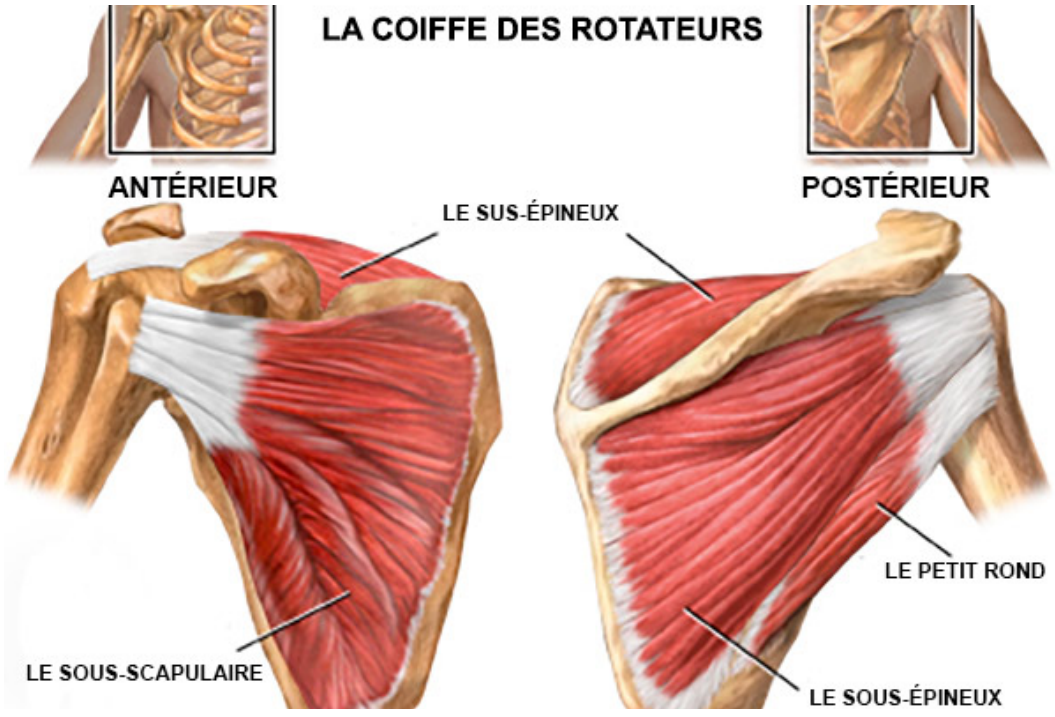


Figure 2. Schéma de la coiffe des rotateurs

La coiffe des rotateurs est un complexe musculo-tendineux formé par le supra-épineux supérieurement, le sub-scapulaire antérieurement, l'infra-épineux et le petit-rond postérieurement.

Le rôle primaire de la coiffe des rotateurs est de stabiliser la tête de l'humérus durant les activités du membre supérieur en dehors des amplitudes extrêmes par un équilibre musculaire entre les groupes antagonistes des rotateurs médiaux et latéraux (28,29). Ils ont également un rôle moteur de l'épaule.

-Le sub scapulaire (sub-scapularis) est le muscle le plus puissant de la coiffe des rotateurs. Il fonctionne comme un rotateur interne et un coaptateur de la tête humérale lors du déplacement du bras. Ce muscle recouvre la face antérieure de la scapula et se termine sur la petite tubérosité de l'humérus en renforçant via son tendon l'action de stabilisation passive des ligaments gléno-huméraux empêchant la translation antérieure de la tête de l'humérus.

-L'infra-épineux (infra-spinatus) recouvre la fosse infra-épineuse de la scapula et se termine sur la grande tubérosité de l'humérus. Il agit comme un rotateur externe et coapteur de la tête humérale lors des premiers degrés d'abduction. Il a également un effet stabilisant lors de la rotation interne du bras empêchant la subluxation postérieure de la tête de l'humerus.

-Le petit rond (teres minor) s'insère sur la partie médiane du bord latéral de la scapula et se termine sur la face postérieure de la grande tubérosité. Il agit en synergie avec l'infra-épineux comme rotateur externe et participe à l'adduction.

-Le supra-épineux (supra-spinatus) recouvre la fosse supra-épineuse et se termine sur la grande tubérosité. Son action est triple, abducteur, rotateur externe du bras, et coaptateur de l'articulation gléno-humérale. Le supra-épineux est actif pendant toutes les activités d'élévation par une action synergique avec le deltoïde et joue un rôle important dans la stabilisation de la tête de l'humérus (30). De 0° à 90° d'élévation, le deltoïde et l'ensemble de la coiffe des rotateurs sont actifs. L'activité du supra-épineux culmine à 100° et diminue à partir de ce point.

La coiffe des rotateurs augmente la force de compression de la tête humérale contre la glène, et ce durant tout l'arc de mouvement permettant de stabiliser l'articulation gléno-humérale par une action coaptatrice (29,30).

Pendant l'élévation de l'épaule, la coiffe des rotateurs fonctionne de façon antagoniste au deltoïde en empêchant la translation supérieure de la tête humérale par la contraction des faisceaux inférieurs de ses rotateurs latéraux créant ainsi un vecteur de force descendant.

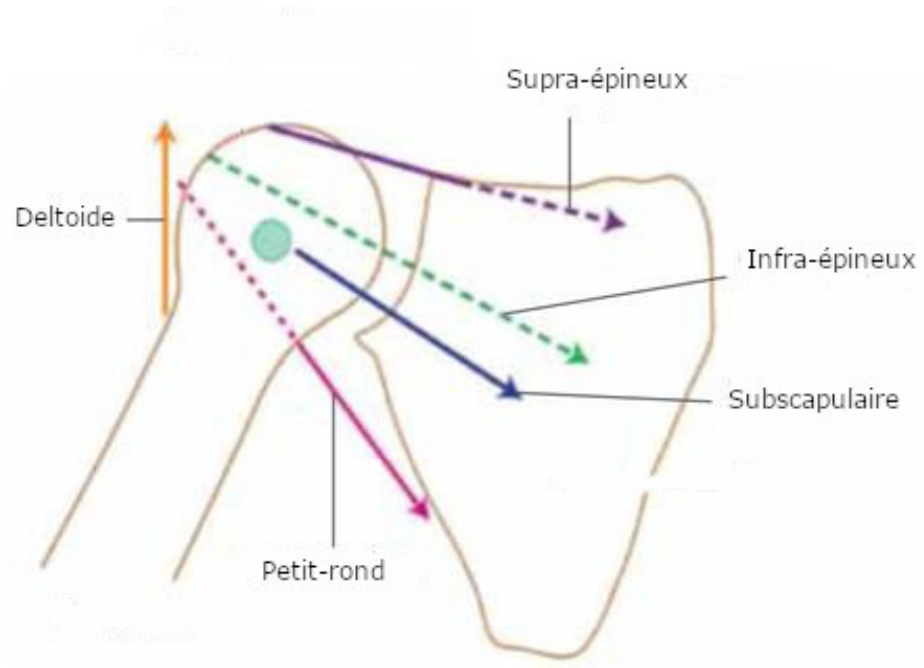


Figure 3. Force de coaptation de la coiffe des rotateurs.

Une coordination neuromusculaire efficace de l'épaule, régulée par la proprioception à travers les mécanorécepteurs des ligaments péri-scapulaires, permet l'activation sélective des muscles pour assurer une stabilisation en temps réel.

B. Les principales affections non traumatiques de l'épaule

Conflit sous acromial

Le conflit sous acromial résulte d'une diminution de l'espace sous acromial pouvant être structural ou fonctionnel (31). Le premier consiste en une diminution physique de l'espace en raison d'une morphologie osseuse particulière (en particulier un acromion de type III) ou d'un épaississement des tissus dû à une inflammation. Le deuxième est une diminution relative de

l'espace par un défaut de centrage de la tête humérale en lien avec une altération de la mécanique scapulo-humérale ou un déséquilibre musculaire. Si la symptomatologie est semblable dans les deux cas, la prise en charge est différente: un conflit sous acromial purement fonctionnel pourra bénéficier d'une prise en charge rééducative efficace.

Pathologie de la coiffe des rotateurs

Le terme de pathologie de la coiffe des rotateurs est un terme générique qui sous-tend une lésion localisée aux tendons de la coiffe (supra-épineux, infra-épineux, sub-scapulaire, petit rond) et/ou à leurs annexes (bourse synoviale…) (HAS). La souffrance tendineuse chronique s'explique par 4 causes qui interviennent à des degrés variables:

-Surmenage tendino-musculaire par sursollicitation.

-Compression mécanique: conséquence directe du conflit sous-acromial en raison du frottement répété du tendon du sus épineux contre le bec acromial.

-A ces deux causes principales, s'ajoutent une composante vasculaire, la portion terminale du sus épineux étant une zone mal vascularisée et particulièrement fragile ainsi qu'une composante dégénérative, par le vieillissement normal des tendons, qui participent à l'apparition et l'aggravation d'une pathologie de la coiffe.

Différents stades de gravité peuvent alors se présenter allant du simple œdème tendineux, à la micro-rupture tendineuse jusqu'à la rupture complète.

Instabilité de l'épaule

Le terme d'instabilité gléno-humérale, défini par Matsen comme une translation excessive et douloureuse de la tête humérale compromettant le confort et la fonction de l'épaule, est un concept en évolution constante et regroupe des formes cliniques différentes, en fonction du déplacement, des circonstances de survenue et du contexte.

Thomas et Matsen (32) sont à l'origine de la classification la plus utilisée actuellement en séparant l'instabilité d'épaule en deux catégories distinctes: "TUBS" pour «Traumatic Unidirectional Bankart lesion Treated with Surgery» et "AMBRII" pour «Atraumatic Multidirectional Bilateral responds to Rehabilitation and Inferior capsular shift and Interval closure if required» pour différencier les instabilités traumatiques chirurgicales des instabilités non traumatiques multi-directionnelles bilatérales relevant plutôt de la rééducation.

La classification de Stanmore suggère qu'une instabilité requiert la perturbation d'au moins un de ces éléments:

- Le complexe capsulo-ligamentaire,
- La coiffe des rotateurs,
- La coaptation entre la glène et la tête humérale,
- Le système nerveux central/périphérique.

Il classe ainsi les instabilités en trois entités: instabilité traumatique, instabilité atraumatique lésionnelle et instabilité sur dysfonction neurologique ou musculaire. Dans les contextes atraumatiques, l'instabilité n'est pas toujours décrite par le patient et peut se manifester par une épaule douloureuse lors d'une activité sollicitant les membres supérieurs.

L'instabilité lésionnelle atraumatique est en général une instabilité uni-directionnelle (antérieure ou postérieure), qui se développe sur un terrain d'hyperlaxité capsulo-ligamentaire aggravée par des lésions des structures stabilisatrices secondaires à des micro-traumatismes lors de la pratique sportive ou du travail (33).

L'instabilité par dysfonction musculaire est liée à un défaut de coordination musculaire, la coiffe ne jouant plus correctement son rôle de coapteur de la tête humérale. Un terrain d'hyperlaxité est également fréquemment associé. Il s'agit en général d'une instabilité uni ou multidirectionnelle. Des lésions des structures stabilisatrices peuvent apparaitre secondairement.

C. Approche physiopathologique et biomécanique

Surcharge musculo-squelettique

Le surmenage des tendons de la coiffe des rotateurs peut survenir sans conflit mécanique lorsque des contraintes excessives sont appliquées de manière répétée ou prolongée provoquant des déformations visco-élastique, des micro ruptures tendineuses et une augmentation de la pression intra-musculaire, le tout conduisant à une dégénérescence tendineuse progressive (34). Les mouvements d'élévation du bras sont particulièrement contraignants. L'écartement du bras augmente considérablement la charge mécanique sur le tendon du sus-épineux, avec une pression intramusculaire significativement plus importante à 60° qu'à 15°,30° et 45° (35).

Les principaux facteurs de risque de tendinopathie de la coiffe des rotateurs par surcharge musculo-squelettique sont (34):

– la posture de l'épaule en abduction > 60° prolongée ou répétée;

– l'antépulsion et la rétropulsion extrême de l'épaule prolongées ou répétées;

– les contraintes dynamiques répétées des muscles de l'épaule;

– la manipulation de charges lourdes;

– l'exposition aux vibrations générées par des outils tenus en main et l'exposition au froid.

Concept de l'équilibre agoniste/antagoniste

L'équilibre agoniste/antagoniste, défini au niveau de l'épaule par l'équilibre des muscles rotateurs internes (RI) et des muscles rotateurs externes (RE) est représenté comme un déterminant de la stabilisation de l'articulation scapulo-humérale (36). Plusieurs auteurs ont suggéré qu'un déséquilibre de force entre les rotateurs internes et externes pourrait conduire à un dysfonctionnement de l'épaule (37,38).

Codine et al. (38) dans une revue de littérature objective un ratio RE/RI proche ou supérieur à 1 dans l'instabilité gléno-humérale (pour un ratio usuel entre 0,6 et 0,8 pour les épaules saines) en faveur d'un déficit de force en rotation interne. La perturbation de la balance des rotateurs serait à l'origine d'un défaut de centrage de la tête humérale et favoriserait, en cas de faillite des éléments de contention passifs, l'instabilité de l'épaule (38).

Plusieurs auteurs notent une amélioration de la force et une normalisation des ratios corrélées à une amélioration de la stabilité dans 80 à 90% des cas après une prise en charge rééducative lors d'une instabilité antérieure ou multi-directionnelle de l'épaule (38, 39).

Cette modification de force et des ratios se retrouve dans le conflit sous-acromial. Leroux et al. (40) rapportent une modification du ratio RE/RI du côté du conflit, mais aussi au côté sain laissant supposer que la modification de la balance musculaire de l'épaule pourrait être un facteur prédisposant au conflit. Le déséquilibre musculaire serait à l'origine d'une instabilité antéro-supérieure lors de l'élévation du bras, pouvant conduire à une migration supérieure de la tête humérale avec un risque d'impingement (37).

Fatigabilité des muscles de la coiffe des rotateurs

La fatigue musculaire est un processus physiologique complexe survenant lors de contractions musculaires répétitives se manifestant par une baisse transitoire de la capacité de travail du muscle ou par une altération fonctionnelle (Scherrer et Monod, 1960).

Des études ont mis récemment en évidence un lien entre fatigue musculaire et conflit sous acromial. L'ascension de la tête humérale est accentuée après un protocole de fatigue sur la coiffe des rotateurs, avec une réduction de l'espace sous acromial pouvant aller jusqu'à 4,6 mm conduisant de ce fait à un risque majoré de conflit (41). Une diminution de 30% de la force de la coiffe des rotateurs semble être suffisante pour entraîner un positionnement supérieur de la tête humérale (42). Au niveau de l'épaule, la fatigue musculaire va conduire à une perte d'efficacité de la coaptation et de la coordination neuro-musculaire en modifiant ainsi la cinématique du mouvement.

⁂

La force, la balance musculaire entre groupes agonistes et antagonistes et l'endurance musculaire apparaissent comme des éléments essentiels dans la biomécanique de l'épaule et concourent à une stabilisation optimale et à la protection articulaire. Une perturbation de cet équilibre peut intervenir dans le mécanisme physiopathologique de l'épaule et son évaluation est alors essentielle pour une prévention ou un traitement personnalisé. L'isocinétisme est la technique de choix dans l'évaluation musculaire.

IV. Isocinétisme

A. Définition

Une machine d'isocinétisme permet un mouvement à vitesse constante sur toute la plage de mouvement et dans lequel la résistance s'adapte automatiquement à la capacité du muscle à générer de la force. Ce type de mouvement garantit une contraction musculaire maximale sur toute l'amplitude. La résistance de l'équipement sera directement proportionnelle à la vitesse du mouvement:

-Plus la vitesse est basse, plus la résistance au mouvement est forte.

-Plus la vitesse est élevée, plus la résistance au mouvement est faible.

Une machine d'isocinétisme comporte un enregistreur graphique couplé au système de mesures et autorise la lecture simultanée du moment de force développé et de la position angulaire au cours du mouvement. Un matériel de traitement informatique assure l'analyse des résultats, leur visualisation et leur édition ou leur stockage.

Les principaux domaines d'applications des dynamomètres isocinétiques sont :

- L'évaluation musculaire: Une machine d'isocinétisme permet d'évaluer de manière fiable et reproductible la force musculaire (43). On peut l'utiliser pour la prévention des lésions musculaires, pour un dépistage de déséquilibre musculaire, le suivi thérapeutique, le suivi sportif..

- La rééducation (rééquilibrage articulaire). Elle peut renforcer de manière sélective les différents groupes musculaires suivant une grande possibilité de protocole, selon un mode concentrique ou excentrique, et à différentes vitesses de contraction. Le renforcement est contrôlé, sécurisé, et personnalisé.

- La recherche scientifique, pour la compréhension de la physiologie du système musculaire et des phénomènes pathologiques pouvant toucher le système musculo-squelettique.

L’exercice musculaire isocinétique étant réalisé à la force maximale du sujet, les risques et contre-indications sont celles d’un exercice maximal avec les contraintes induites sur le système musculo-squelettique (risques de lésions tendino-musculaires notamment en mode excentrique) et sur le système cardio-vasculaire par l’augmentation importante de la fréquence cardiaque et de la tension artérielle. L’isocinétisme doit toujours être réalisé après une évaluation clinique attestant de l’absence de contre-indications.

B. Utilisation des tests isocinétiques dans l’évaluation musculaire.

L’évaluation isocinétique permet d’étudier la contraction musculaire en concentrique et excentrique. Lors d’une contraction concentrique, les fibres musculaires se raccourcissent et l'origine et l'insertion du muscle se rapprochent. Lors d’une contraction excentrique, la tension musculaire est développée pour ralentir un bras de levier. Ses fibres s'allongent et l'origine et l'insertion sont écartées.

Une évaluation isocinétique permet d’étudier différents paramètres pour un mode de contraction et une vitesse définie:

- Le moment de force maximum (MFM), ou Peak Torque pour les anglo-saxons, est le paramètre le plus étudié et dont la reproductibilité est la meilleure (43). C’est le moment de force le plus élevé au cours du mouvement isocinétique. Sa valeur dépend de la vitesse du mouvement et de la position du membre, de l'âge et du sexe du sujet, ainsi que du type d'activité pratiquée. Sa valeur peut être normalisée au poids du corps pour permettre une meilleure comparaison entre sujets.
- Ratio: C’est le rapport MFM agonistes/MFM antagonistes. Il est le reflet de la balance musculaire de l’articulation. L’évaluation des ratios montre une reproductibilité moins bonne que le moment de force (44).
- Position angulaire: Ce paramètre permet de déterminer l'angle articulaire où la force développée est la plus importante ou l’angle où des faiblesses apparaissent. Ce paramètre est peu reproductible (44).
- Travail: exprimé en Joules, le travail dépend directement de l’amplitude globale du mouvement.

- Puissance: La puissance tient compte à la fois de la force développée et de la vitesse du mouvement. La puissance est un paramètre important dans l'évaluation de la fonction musculaire de certains sportifs.
- Evaluation de la fatigue: Le test d'endurance ou test de fatigue cherche à étudier la fatigue musculaire objective. Le principe des tests est de faire réaliser au sujet plusieurs mouvements consécutifs, le sujet développant tout au long du test sa force maximale volontaire, puis de mesurer le pourcentage de perte de force par le calcul d'un index de fatigue. Ces tests de fatigue témoignent de la capacité de travail dynamique du muscle et permettent de mettre en évidence des modifications de cette capacité de travail liées à un entraînement ou un état pathologique (45). L'isocinétisme a été prouvé comme un outil reproductible de l'évaluation de la fatigue (46).

L'analyse des paramètres de l'évaluation isocinétique se fait le plus souvent par la comparaison bilatérale du moment de force maximum, l'analyse du rapport agonistes/ antagonistes, la comparaison des paramètres avec des valeurs normales d'une population de référence (si elles existent) et l'analyse des anomalies de courbes éventuelles (47).
Le respect d'une méthodologie rigoureuse, une bonne stabilisation et fixation du sujet, ainsi que des paramètres externes identiques à chaque sujet (échauffement, encouragements,…) sont nécessaires pour une bonne reproductibilité des mesures.

C. Utilisation de l'isocinétisme dans l'articulation de l'épaule.

L'évaluation de la force musculaire et la recherche de déséquilibre agonistes / antagonistes sont intéressantes dans divers contextes pathologiques relatifs à l'épaule: conflit sous-acromial, épaule instable, atteinte neurologique, récupération après chirurgie, retour sur le terrain..
L'interêt est multiple, de la prise en charge rééducative individualisée, au suivi médical, jusqu'au dépistage des sujets à risque de blessure.

Différentes positions d'évaluation sont possibles; la position assise avec le bras à 45° dans le plan de l'omoplate décrite par Davies est la position la plus étudiée et montre la plus grande

reproductibilité dans l'évaluation des moments de force (MFM) pour les rotateurs latéraux et médiaux (44,48). La position présente l'avantage d'être plus sécurisée limitant l'apparition d'un conflit ou de douleur (49). L'évaluation peut se faire dans les deux modes de contraction, l'évaluation en mode concentrique étant plus reproductible que l'évaluation excentrique (49).
Il convient d'utiliser la correction de gravité qui a une influence significative sur la valeur déterminée du moment de force musculaire des RI et RE de l'épaule (50).

Les groupes musculaires des rotateurs internes/externes sont les plus souvent étudiés.
Il est recommandé d'utiliser en mode concentrique les vitesses de 60° et 180° par seconde pour un test à deux vitesses (36). L'évaluation isocinétique des rotateurs d'épaule du sportif requiert, en complément le mode excentrique à 60°/s. Cette exploration permet le calcul de ratios fonctionnels excentrique–concentrique, reflétant davantage la balance musculaire agonistes / antagonistes lors de certains gestes sportifs (36). L'analyse de ratios concentriques RE/RI représente la démarche classique lors de l'analyse isocinétique de l'épaule (47).

En conclusion

La pratique du violon par une sollicitation intense et spécifique des membres supérieurs et en particulier de la coiffe des rotateurs se révèle être une activité prédisposante à la survenue de pathologies de l'épaule. Les conséquences peuvent être particulièrement néfastes sur la carrière professionnelle du musicien. La coiffe des rotateurs est un élément clé dans la stabilisation de l'épaule lors des mouvements du bras et son intégrité est essentielle pour une épaule saine et sans douleur.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence d'une pratique intensive du violon sur la coiffe des rotateurs par une évaluation isocinétique, en comparant un groupe de violonistes à un groupe contrôle de sujets non musiciens.

L'amélioration des connaissances de la biomécanique de la pratique instrumentale nous parait une étape nécessaire pour mieux appréhender la pathogénie des affections d'épaule chez le musicien.

"His stance must be erect yet supple so that like a graceful reed he may weave with the breeze and yet remain aligned from head through spine to feet. He is a living structure stretched between the magnets of sun and earth. Just as only a stretched string can vibrate, so before a violinist's body vibrates he must feel drawn upward, his head delicately poised on the vertebrae, his diaphragm raising him on a cushion of air, while the working parts of his anatomy - shoulders, hands and fingers - float and balance at different levels. »

Yehudi Menuhin (1916-1999)

ARTICLE

The influence of the violin on rotator cuff muscles

Abstract

BACKGROUND: Upper string players have been reported to be among the most vulnerable to Playing Related Musculo-skeletal Disorders (PRMD) due to the high physical demand. However data on the underlying causes is scarce. Research are needed to explore the impact of violin practice on musculoskeletal system of musician.

OBJECTIVE: Assess shoulder rotator cuff balance, strength, and endurance in professionals violinists, with comparison to a control group.

METHODS: The control group and the violinists group were homogeneous in terms of age, weight, sexe ratio, height and score Quick-DASH. Assessment was carried out with the isokinetic dynamometer Contrex®. The ER and IR muscles were concentrically assed at speeds of 60° and 180°/sec. The parameters chosen were: peak torque (PT) normalized by weight, and ER/IR ratios. Endurance was assed at 240°/s with the calcul of a fatigue index.

RESULTS: no significants differences between the dominant and non-dominant shoulders in IR and ER muscle concentric strength in violinists were noted and no significants differences between the violinists sample and the control group were noted.

CONCLUSION: Intensive practice of violin is not associated with muscle imbalance or rotator cuff weakness for healthy musicians. Further prospective studies are needed to compare the muscular balance and muscular endurance of musicians with pathology and those without. An appreciation of the role of these specific factors will undoubtedly be of great value in future prevention and treatment strategies for musicians with PRMD.

Keywords : isokinetic - performing art medicine - biomechanics - Playing-related musculoskeletal disorders - upper string players

1. Introduction

Over the past decades, the interest for the musician's health has grown significantly and has become the subject of multiple research. Fishbein's study (1) about 2,212 professional orchestral musicians showed that 82% of musicians suffered from playing related musculo-skeletal disorders (PRMD).

Musculoskeletal disorders are the most frequent problems among musicians and can be particularly disabling (1,2) with difficulty in playing or even career-ending (3). Previous studies have determined that repetitive movements associated with long hours of practice and performance are at the main cause of the development of musculoskeletal injuries among musicians (6). String musicians are particularly affected and present disease of upper limb and trunk represented by tendinitis, nerve compressions and focal dystonia (4,5,6). String players may be particularly prone to rotator cuff injuries (7) with similar incidence between right and left shoulder.

The practice of violin requires a repetition of complex and rapid movements of the upper limb. Knowing biomechanics requirements of instrumental performance is an essential step in the understanding in the mechanism of injury and can inform future protection strategies. Kinematic evaluation for movement analysis has been used for many years and recently some studies were about movement patterns in string instruments (8, 9). During the play, he bowing arm' shoulder observe greater angle variations than elbow and wrist and determine the changes in bow position from string to string with an increasing abduction/flexion from the highest string (I) toward the lowest string (IV). Studies with applied surface electromyography (EMG) recording the patterns of muscle activation during violin practice showed that rotator cuff was activated most of the time with muscular patterns depending of bowing movement (10). For the left arm, the shoulder has a mostly static job with an external rotation almost complet associated with supination of the forearm to stabilize the instrument.

Due to the specific movement patterns, the rotator cuff is a structure that can be placed under great strain when playing the violin, by a dynamic load for the bowing arm and a mainly static load for the support arm. Both are know to be important cause of injury. Rotator cuff integrity is essential for preventing upper limb pathologies as it is involved in maintaining the bio-mechanical balance and stabilizing the shoulder joint. Studies have shown

that disturbed shoulder rotator muscle balance may be associated with a risk of impingement of rotator cuff or instability (11,12).

Isokinetic is an assessment and rehabilitation tool widely used in sport medicine. The principle is based on working at constant angular speed and makes it possible to reliably and reproducibly assess muscle strength and selectively strengthen different muscle groups. Several studies describe the normative data of isokinetic shoulder tests in different populations in sport or injury context. No studies have yet been performed on isokinetic analysis of the violinist's shoulder. The use of such a tool in the biomechanics of the arts could provide valuable information on the influence of intensive practice of an instrument on muscle structures and could give important information for musician rehabilitation or prevention.

The purpose of this study was to analyze the effects of an intensive practice of violin on the strength, balance, and endurance of shoulder rotator cuff muscles in professionals violinists.

2. Methods

2.1. Participants

Twenty two subjects, split up into two groups, participated to this cross-sectional controlled study: a group of 11 healthy violinists and a group of 11 healthy non-musician subjects (control group). All the violinists were musicians at the Philharmonic Orchestra of Strasbourg. The controls were pair matched to the study group based on age, height, weight, and sexe. The protocol was fully explained to them and they all gave their informed consent before testing began.

All participants were right arm, asymptomatic and free from musculoskeletal shoulder injuries at the time of testing. No participant in this study reported prior shoulder surgery or shoulder rehabilitation. No participant practiced an intensive sport (>3h/week) soliciting the upper limb.

A quick DASH questionnaire was completed by each participant before the evaluation, to ensure the absence of functional disorder of upper limb.

The project was approved by the ethics committee SO2 - Sud-Ouest et Outre-mer II.

2.2 Isokinetic assessment:

The isokinetic dynamometer CONTREX® was used to realize strength testing. The results were integrated with a computer and appropriate software.

Davies' position has been used, this position has been adopted by several authors for the limitation of subacromial impingement and pain (13, 14).

The subject was seated with extended trunk at 15° and arm abducted at 45 ° with 30° of flexion (figure 1). The rotation axis of the dynamometer was aligned to the rotation axis of the glenohumeral joint. The elbow was supported on a stabilizer pad in 90° of flexion. The lever arm was adjusted to the length of the subject's forearm, in neutral position. Gravity correction was performed before assessment. The total range of motion allowed in the test was 90°. The participant was informed to avoid trunk movements.

A warm-up was realized by all subjects before isokinetic assessment, with 8 min on cycle ergometer at 20W then two series of 15 internals and externals rotations with elastics. Then, after 3 minutes break during installation, the subjects were asked to perform a warm-up on the Contrex by 10 repetitions at 120°/sec to become familiarized with the instrumentation.

The official test was performed in 3 concentric repetitions at 60°/s, 5 concentric repetitions at 180°/s and 20 repetitions at 240°/s preceded by 3 familiarization series in each speed. There was a 30-second rest between familiarization series and tests and a 60-second break between each speed. During evaluation, each subjects were verbally encouraged to give the maximum of strength.

2.3. Data and statistical analysis

The following parameters were analyzed in both groups for each velocity:

-Peak maximum Torque (PT) of internal (IR) and external (ER) rotators: the highest moment of force applied along the whole range of motion. All data from muscle torque were normalized with body mass.

-Unilateral ratio (ER/IR ratio): the quotient between the concentric PT of ER and IR. It characterizes the muscle balance between agonist and antagonist groups of rotator cuff.

-The fatigue index was calculated using the following equation: [(W1-W2)/W1]x100 where W1 was the workload performed in the first third of the endurance test and W2 the workload performed in the last third. The result was expressed as a percentage.

Quantitative variables were described using mean (standard deviation) and categorical variables by their count (proportion).

Measures among violinists between dominant and non-dominant limbs were compared using paired t-tests and results were expressed as mean difference, confidence interval, and p-value. To assess the differences between the violinists and the control group, t-tests were realized, providing the same presentation of the results.

The comparisons made were also described by boxplots.

All statistical analyses and figures were carried out with version 4.0.1 of the R software with a significance threshold of 5%.

2.4 Funding

This study did not receive funding for it completion.

3. Results

We totally included 11 healthy professionals violinists and 11 controls subjects. The main characteristics of the participants are presented in Table 1. The violinists group consisted of 7 females and 4 males with a mean age of 41±11 years, mean height 170.5 ±5.7 cm, and mean weight 65 ±11.3 kg. Subjects practiced violin an average 11 hours per week at home. The control group consisted of 7 females and 4 males with a mean age of 41±13 years, mean height 172±9.3 cm, and mean weight 64.8 ±11.7 kg. The results of the Quick DASH score show a good functional capacity of upper limbs for both groups.

All performed the isokinetic evaluation through the end with a coefficient of variation <15% for each test.

Comparison of dominant and non-dominant sides

Figure 1 and Table 2 present the peak torque and ratio ER/IR of dominant and non-dominant limbs in violinists group for each speed. Compared to the non-dominant limb, the dominant limb of violinists presented at 60 °.s-1 a greater peak torque of 0.03 Nm/Kg [-0.02; 0.07] in external rotation and of 0.03 Nm/Kg [-0.04; 0.10] in internal rotation but these differences were not significant (p = 0.20 and 0.39). There was no significant difference in the ratios between the two limbs.

Intergroup comparison

Table 3 shows the results of the evaluation performed at the angular speed of 60°·s-1.

Compared to the control group, the violinists group presented for the dominant limb a greater peak torque of 0.02 Nm/kg [-0.10; 0.14] in external rotation as well as a higher ER/IR ratio with a difference of 3% on average. However, these 2 differences were not significant.

Conversely, the non-dominant limb in violinists presented weaker internal rotators with a difference of 0.03 Nm/Kg [-0.19; 0.13] and a higher ER/IR ratio with a difference of 6% on average. However no significant statistical differences ($p<0.05$) between the groups were observed.

Table 4 shows the results of the protocol at 180°·s-1 angular speed. The peak torque values of ER were higher in the violinists group for both limb with higher ratio of 5% on average. No significant statistical differences ($p<0.05$) between the groups were observed.

The Index Fatigue (IF) for violinists were invariably lower in IR and ER for both limb but differences were not significant (Table 5).

4. Discussion

The first objective of this study was to characterize the muscle balance and isokinetic strength profile of the shoulder rotators in violinists, and comparing the results to a non-musicians control group.

The shoulder strain in upper string players, following fast and repetitive bow strokes in the right side or prolonged maintenance of a static posture in the left side lead to similar risk of injury than overhead athletes and industrial workers. Mainly used in sport medicine, isokinetic evaluation has not still been performed on upper string player and there is lack of data on the impact of musical practice on musculoskeletal system.

The strengths parameters that we analyzed during isokinetic evaluation were the concentric peak torque to body weight of external and internal rotator muscle groups and the ratio between these.

The main findings of this study were no significant side-to-side differences in violinists sample and no significant differences in ER and IR strength and ratio values between control subjects and violinists were noted.

Our results confirm those in the literature reporting higher values for the internal rotators compared with the external rotators (15). The ER/IR ratio of control group were comparable

with the usual ratio of 0.60 to 0.80 on the healthy shoulder from other studies which mean the control group were representative of healthy non-athletic subjects (15,16). Studies show various peak torque values of internal and external rotators. These differences may be related to different assessment methods and populations. The isokinetic protocols variations like different speeds, the position of the subjects, the strength parameter considered whether it is the average peak torque, the peak torque or peak torque to body weight make it difficult to compare the strength results from one study to another (17).

Although no significant differences were noted, these results indicated, in all conditions, higher ER strength values for the violinists in comparison with the control group, and lower IR strength values for the support arm of violinists in comparison with the CG at 60°/s. It is not possible to compare these results with previous studies, because, to our knowledge, no study has yet presented data regarding rotators strength in violinists.

Duprey et al. (10) found shoulder's muscles infraspinatus and supraspinatus were activated all along the play with a greater participation on the G string, when bow arm is elevated and internally rotating. So, even if violinists do not use maximum torque when playing, the high sollicitation on external rotators muscles could lead to a better muscle recruitment and higher ER strength values. A comparative study of a larger group is needed to verify these findings.

Muscle Balance

The rotator cuff has a major role of stabilization of the humeral head, counteracting the upward force of deltoid on the glenohumeral joint when elevating arm. Imbalance in muscle strength between the internal and external rotator muscles of the shoulder has often been evoked as one of the factors responsible for musculoskeletal disorders. Indeed, alteration of this external/internal rotators ratio (ER/IR) has been reported in patients with glenohumeral joint instability and impingement.

Subacromial impingement syndrome is one of the common causes of shoulder pain and can lead to a variety of injuries ranging from subacromial bursitis to rotator cuff tendinopathy and rotator cuff tears. Overhead shoulder activities are associated with increased risk of symptomatic SAIS and tendinopathy (18). Fjellman-Wiklund (19) found that during bowing the right upper arm was elevated by 30-90° for as long as a fourth of a violinists working time, placing the violin as a risk activity for rotator cuff pathology.

The subacromial space (SAS) is defined by the humeral head inferiorly, the anterior edge and under surface of the anterior third of the acromion, coracoacromial ligament and the

acromioclavicular joint superiorly (20). The tissues that occupy the subacromial space are the supraspinatus tendon, subacromial bursa, long head of the biceps brachial tendon, and the capsule of the shoulder joint. The subacromial impingement results classically from a decrease in the subacromial space with two predominate mechanistic theories (21). A primary conflict is due to a structural modification of the joint complex with reducing subacromial space like a hooked acromial shape, the thickness of the subacromial ligament, osteophyte or calcific deposits as well as inflammation (20,21). Secondary impigement is the consequence of a functional problem with an alteration of the scapulo-humeral mechanics which lead to relative decrease in space such as weakness or muscle imbalance (22, 23). It appears that in upper strings players, a combination of these two types of impingement takes place (24).

Evidence suggests that subacromial space decreases as arm elevation increases (25-28). In her study, Lawrence found risk for supraspinatus compression was particularly greatest between 30° and 90° glenohumeral elevation (29). Some studies report the same findings in musicians with decreasing space in the right and left shoulders during violin practice. In the right shoulder, the SAS decreased from the resting position through the 4th string position and in the left shoulder to the resting position into support position (24). Theoretically, these changes in the subacromial space during standard musical motions could be accentuated by an instability of the humeral head due to a deficient stabilization of rotator cuff, leading to a greatest mechanical compression of the subacromial tissues (21).

Indeed, a significantly reduced subacromial space during active arm elevation has been demonstrated in patients with impingement as compared to healthy shoulders (28,30), with an increase in the normal superior and anterior humeral head translation (31,32).

Both glenohumeral and scapulothoracic muscle imbalances can contribute to shoulder complex dysfunction and functional impingement (23). Warner et al. (33) found that relative weakness of the external rotators was an important cause of impingement by a decrease in the downward force vector of the shoulder during elevation, resulting in upward migration of the humeral head. Forthomme (34) found an ER strength deficit in patients with impingement syndrome that remained at the second isokinetic evaluation after intra-bursal injection of local anesthesic suggesting pain was not the cause of decrease ER observed.

However other studies (35,36) found opposite results in patients with impingement with a higher ER/IR ratio due to a decrease in the strength of the internal rotators. This discordant results is possibly due to the evaluation methods, the small samples studied and often to the sports hyperspecialization of the subjects tested (34, 37).

A dysbalance of rotator cuff could be a factor who initiate or aggrave subacromial impingement syndrome in violin player. However, the link between muscle imbalance and tendinomuscular lesions is not yet clearly established on the basis of solid forward-looking work.

In the same way, several studies found rotator cuff dysbalance in patients with instability. In his review, Codine et al. (37) reported that in shoulder instability, the most consistent abnormality was a decrease in medial rotator strength with an increase ER/IR ratio close or greater than 1 (for values considered physiological for a healthy shoulder between 0.60 and 0.80). The dysbalance of the rotators could promote an instability of the shoulder by a bad centering of the humeral head if associate with a failure of the passive stabilization system (37). Studies found joint hypermobility was frequent among musicians (38) and suggested an association between hypermobility and development of musculoskeletal disorders (38,39). Studies are needed to confirm an association between rotator cuff dysbalance and shoulder instability in particular among musicians presenting joint hypermobility and the interest of preventive strategies for this group.

In our study, the results of the unilateral ratios, both at 60°·s-1 and at 180°·s-1, don't show significant differences of the dominant limb (bow arm) and the non dominant limb (support arm) in the violinists group and between both groups. However the ER/IR ratio in the group of violinists ranged from 0.85 to 0.86 values that are close to, but slightly higher, than the control group and the normative values previously described, mainly due to higher external rotator strength. A comparative study of a larger group is needed to confirm these findings. In spite of this, our study don't show muscle imbalance in healthy violinists compared with non musicians and with normative data from the literature, neither imbalance between bow arm and support arm. We can conclude intensive practice of violin is not associated with muscle imbalance or rotator cuff weakness in healthy musicians.

Muscle fatigue

In our study, although no significants differences were noted, the results indicated, in all conditions, lower index fatigue for the violinists in comparison with the control group, particularly in the left limb. To verify the better rotator cuff muscles endurance of healthy violinists, a more large sample is needed.

Shoulder muscle fatigue, especially rotator cuff group, was identified as a possible cause of shoulder dysfunction (40,41). Studies have shown that fatigue of rotator cuff muscles can lead to an increase in superior humeral head migration and thus to a reduction of subacromial space (42-44). Chopp et al. (42) found the humeral head migrated superiorly after fatigue with a mean excursion measure of approximately 0.63 mm. Significant excursion was found at 135° with 0.97 mm +/- 1.29 mm. A 30% decrease in rotator cuff force appears to be large enough to result in superior positioning of the humeral head (43). Ebaugh et al. (45) found that following an elevation or external rotation fatigue protocol, subjects demonstrated altered scapulothoracic and glenohumeral kinematics as more upward and external rotation of the scapula, more clavicular retraction, and less humeral external rotation. EMG signs of infraspinatus muscle fatigue were higher in the shoulder elevation fatigue protocol compared to the external rotation fatigue protocol, which may indicate shoulder elevation lead to a greater demands on external rotator muscles (46).

Islán et al. (47) studied with the use of 3D simulation, the behavior of the glenohumeral joint and the rotator cuff of a violinist during his training in repetitive routines, and in particular the predictive time of muscular shoulder's fatigue onset. The supported left arm presented a higher risk of fatigue with a time to onset of 1.7 hours, then abduction positions of the bow arm at 42.5 ° and 80 ° show an onset of fatigue respectively at 2.1 hours and 4.14 hours. Thus, violin practice work create rotator cuff fatigue, which could, after these specific delays, inhibited the ability of the shoulder musculature to resist upward humeral translation and accelerate the development of upper extremity musculoskeletal disorders, particularly impingement.

Research Implications

The current literature surrounding PRMD comprises very few studies exploring the impact of instrument practice exerted on musicians'musculoskeletal system. Steinmetz found music students had more musculoskeletal dysfunctions as scapula alata, inhibited neck flexors, inhibited sternocleidomastoid muscle, tight lateral shoulder rotators (48). He founds as well a high prevalence of impairment of postural stabilization systems in musician with playing related musculoskeletal disorders with more than 80% of impairments of the lumbar stabilizers and scapular stabilizers in the upper strings subgroup (49).

In the present study, the healthy violinists don't show significative weakness or dysbalance of shoulder rotators therefore in further studies we aim to investigate such issues from the

inclusion of musicians with PRMD. If the practice of the violin does not create a muscular profil in favor of shoulder pathology, it could be however that a healthy rotator cuff is an essential element in the prevention of musculoskeletal disorders knowing that in our study, musicians were all pain free.

Rotator cuff fatigue could be involved in the occurrence of shoulder dysfunction in violinists through modification of glenohumeral kinetics. Thus, muscular endurance of the rotator cuff could be a key element of prevention of PRMD. Further research are needed to explore the impact of fatigue on violinist's shoulder.

An appreciation of the role of these specifics factors will undoubtedly be of great value in future prevention and treatment strategies for musicians with PRMD.

Limitations

This study presents some limitations. First, to contribute to the establishment of normative data of shoulder rotators strength values in violinists, we consider that the sample size should have been larger. In addition, the small sample size could have limited the possibility of obtaining a significant difference.

Study participants were not randomly selected, but were recruited on a voluntary basis and therefore there is an inherent selection bias. They may in fact not accurately represent the population of professional musicians. It is therefore unclear to what extent our results can be generalized compared to other professional musicians and music students.

We can also report a lack of eccentric testing. The main reasons we omitted eccentric testing in our study were the increased risk of injury during assessment and already significant testing time.

5. Conclusion:

We found no significant difference between the dominant and non-dominant shoulders in IR and ER muscle concentric strength and ratio in violinists. When compare to control group, violinists don't show significative weakness or dysbalance of shoulder rotators and the endurance is not significantly different even if index fatigue were lower in all conditions.

Further prospective studies are needed to compare the muscular balance and muscular endurance of subjects with PRMD and those without. It could help to discover new factors responsible for injuries encountered by orchestra upper strings musicians.

References

1) Fishbein M, Middlestadt SE, Ottati V, Straus S, Ellis A. Medical problems among ICOSM musicians: overview of a national survey. Med Probl Perform Art 1988;3:1-8.
2) Han-Sung Lee et al., “Musicians’ Medicine: Musculoskeletal Problems in String Players,” Clinics in Orthopedic Surgery 5, no. 3 (2013): 155
3) Bruce P. Bernard et al., Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors, quoted in Ralph A. Manchester, “Posture and PRMDs,” Medical Problems of Performing Artists 29, no. 1 (March 2014): 1-2.
4) Zaza C, Farewell VT. Musicians' playing-related musculoskeletal disorders: an examination of risk factors. Am J Ind Med. 1997;32:292–300.
5) Foxman I, Burgel BJ. Musician health and safety: Preventing playing-related musculoskeletal disorders. AAOHN J. 2006;54:309–16
6) Brandfonbrener, A. G. (2003). Musculoskeletal problems of instrumental musicians. Hand Clinics, 19(2), 231–239.
7) NewmarkJ,HochbergFH. Doctor it hurts when I play:painful disorders among instrumental musicians.Med.Probl.Perform. Art1987;2:93±7
8) Turner-Stokes, L., & Reid, K. (1999). Three-dimensional motion analysis of upper limb movement in the bowing arm of string-playing musicians. Clinical Biomechanics, 14(6), 426–433.
9) Kelleher LK, Campbell KR, Dickey JP. Biomechanical research on bowed string musicians: a scoping study. Med Probl Perform Art. 2013 Dec;28(4):212-8. Review.
10) S. Duprey, B. Michaud & M. Begon (2017) Muscular activity variations of the right bowing arm of the violin player, Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, 20:sup1, 71-72.
11) Burnham RS, May L, Nelson E, Steadward R, Reid DC. Shoulder pain in wheelchair athletes. The role of muscle imbalance. Am J Sports Med 1993; 21: 238-242
12) Rupp S, Berninger K, Hopf T. Shoulder problems in high level swimmers-- impingement, anterior instability, muscular imbalance? Int J Sports Med 1995; 16: 557-562
13) Codine P, Bernard PL, Pocholle M, et al. Isokinetic strength measurement and training of the shoulder: methodology and results. Ann Readapt Med Phys 2005;48:80–92.
14) DA VIES GJ. A compendium of isokinetics in clinical usage and rehabilitation techniques. 3e éd., 1987 Set S publishers, Wisconsin.

15) Ivey FM Jr, Calhoun JH, Rusche K, Bierschenk J. Isokinetic testing of shoulder strength: normal values. Arch Phys Med Rehabil. 1985 Jun;66(6):384-6.

16) Dvir Z. Isokinetics of the shoulder muscles. In: Livingstone C, ed. Isokinetics: Muscle Testing, Interpretation, and Clinical Applications. Vol 2nd edition. Tel-Aviv Univ., Israel.;2004:213-233.

17) Land, Helen and Gordon, Susan. 'What Is Normal Isokinetic Shoulder Strength or Strength Ratios? A Systematic Review'. 1 Jan. 2011 : 231 – 241.

18) Leong HT, Fu SC, He X, Oh JH, Yamamoto N, Hang S. Risk factors for rotator cuff tendinopathy: A systematic review and meta-analysis. J Rehabil Med. 2019 Oct 4;51(9):627-637.

19) Fjellman-Wiklund A, Grip H, Karlsson JS, Sundelin G: EMG trapezius muscle activity pattern in string players: Part I - is there variability in the playing technique?" Medical Problems of Performing Artists, vol. 20, no. 1, 2005, p. 60.

20) Umer M, Qadir I, Azam M. Subacromial impingement syndrome. *Orthop Rev (Pavia)*. 2012;4(2):e18.

21) Michener, L. A., McClure, P. W., & Karduna, A. R. (2003). Anatomical and biomechanical mechanisms of subacromial impingement syndrome. Clinical Biomechanics, 18(5), 369–379.

22) Chang WK. Shoulder impingement syndrome. Phys Med Rehabil Clin N Am. 2004 May;15(2):493-510.

23) Page P. (2011). Shoulder muscle imbalance and subacromial impingement syndrome in overhead athletes. International journal of sports physical therapy, 6(1), 51–58.

24) Smithson, E., Reed Smith, E., McIlvain, G., & Timmons, M. (2017). Effect of Arm Position on Width of the Subacromial Space of Upper String Musicians. Medical Problems of Performing Artists, 32(3), 159–164.

25) Bey MJ, Brock SK, Beierwaltes WN, Zauel R, Kolowich PA, Lock TR. In vivo measurement of subacromial space width during shoulder elevation: technique and preliminary results in patients following unilateral rotator cuff repair. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2007 Aug;22(7):767-73.

26) Graichen H, Bonel H, Stammberger T, Englmeier K.H, Reiser M, Eckstein F. Sex-specific differences of subacromial space width during abduction, with and without muscular activity, and correlation with anthropometric variables. *J Shoulder Elbow Surg.* 2001;10((2)):129–135.

27) Giphart JE, van der Meijden OA, Millett PJ. The effects of arm elevation on the 3-dimensional acromiohumeral distance: a biplane fluoroscopy study with normative data. J Shoulder Elbow Surg. 2012 Nov;21(11):1593-600.

28) Hebert LJ, Moffet H, Dufour M, et al. Acromiohumeral distance in a seated position in persons with impingement syndrome. J Magn Reson Imaging 2003;18:72– 79

29) Lawrence RL, Schlangen DM, Schneider KA, et al. Effect of glenohumeral elevation on subacromial supraspinatus compression risk during simulated reaching. *J Orthop Res*. 2017;35(10):2329-2337.

30) Graichen H.et al. , Three-dimensional analysis of the width of the subacromial space in healthy subjects and patients with impingement syndrome. *Am J Roentgenol.* 1999;172(4):1081–1086

31) Deutsch A.et al. , Radiologic measurement of superior displacement of the humeral head in the impingement syndrome. *J Shoulder Elbow Surg.* 1996;5(3):186–193

32) Hallstrom E.Karrholm J., Shoulder kinematics in 25 patients with impingement and 12 controls. *Clin Orthop Relat Res.* 2006;448:22–27

33) Warner JP. Patterns of flexibility, laxity and strength in normal shoul-ders with instability and impingement. Am J Sports Med 1990;18:366–75

34) Forthomme, B., Croisier, J. L., Huskin, J. P., & Crielaard, J. M. (2003). Isokinetic assessment of shoulders with impingement syndrome following pain inhibition. Isokinetics and Exercise Science, 11(1), 70–71.

35) J.L. Leroux, P. Codine and E. Thomas et al., Isokinetic evalu-ation of rotational strength in normal shoulders and shoulderswith impingement syndrome,Clin Orthop304(1994), 108–115.

36) Bak K, Magnusson SP. Shoulder strength and range of motion insymptomatic and pain-free elite swimmers. Am J Sports Med 1997;25:454–8.

37) Codine, P., Bernard, P. L., Pocholle, M., & Herisson, C. (2005). Évaluation et rééducation des muscles de l'épaule en isocinétisme : méthodologie, résultats et applications. Annales de Réadaptation et de Médecine Physique, 48(2), 80–92.

38) Brandfonbrener ag. Joint laxity and arm pain in a large clinical sample of musicians. Med Probl Perform art. 2002;17(september):113-5.

39) Larsson lg, Baum J, Mudholkar gS, Kollia gD. Benefits and disadvantages of joint hypermobility among musicians. NenglJ Med. 1993;329(15):1079-82.

40) Beach ML, Whitney SL, Dickoff-Hoffman S. Relationship of shoulder flexibility, strength, and endurance to shoulder pain in competitive swimmers. J Orthop Sports Phys Ther. 1992;16(6):262-8.

41) Myers JB, Guskiewicz KM, Schneider RA, Prentice WE. Proprioception and neuromuscular control of the shoulder after muscle fatigue. *J Athl Train*. 1999;34(4):362-367.

42) Chopp, J. N., O'Neill, J. M., Hurley, K., & Dickerson, C. R. (2010). Superior humeral head migration occurs after a protocol designed to fatigue the rotator cuff: A radiographic analysis. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 19(8), 1137-1144.

43) Royer, P. J., Kane, E. J., Parks, K. E., Morrow, J. C., Moravec, R. R., Christie, D. S., & Teyhen, D. S. (2009). Fluoroscopic assessment of rotator cuff fatigue on glenohumeral arthrokinematics in shoulder impingement syndrome. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 18(6), 968-975.

44) Teyhen DS, Miller JM, Middag TR, Kane EJ. Rotator cuff fatigue and glenohumeral kinematics in participants without shoulder dysfunction. *J Athl Train*. 2008;43(4):352-358.

45) Ebaugh DD, McClure PW, Karduna AR: Effects of shoulder muscle fatigue caused by repetitive overhead activities on scapulothoracic and glenohumeral kinematics. J Electromyogr Kinesiol. 2006, 16: 224-235.

46) Ebaugh DD, McClure PW, Karduna AR. Scapulothoracic and glenohumeral kinematics following an external rotation fatigue protocol. J Orthop Sports Phys Ther. 2006 Aug;36(8):557-71.

47) Islan M, Blaya F, Pedro PS, D'Amato R, Urquijo EL, Juanes JA. Analysis and Fem Simulation Methodology of Dynamic Behavior of Human Rotator Cuff in Repetitive Routines: Musician Case Study. J Med Syst. 2018 Feb 5;42(3):55.

48) Steinmetz A. Differences in musculoskeletal dysfunctionsbetween music and nonmusic students. In: Miller C, editor.Weinstein MS: 25th Annual Symposium on MedicalProblems of Musicians & DancersMed Probl Perform Artists 2007;22:169-78.

49) Steinmetz, A., Seidel, W., & Muche, B. (2010). Impairment of Postural Stabilization Systems in Musicians With Playing-Related Musculoskeletal Disorders. Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics, 33(8), 603–611.

Tables and figures

Table 1 - Main characteristics (means ± s) of the two groups of participants.

	Age[1] (year)	Sexe Ratio (H/F)	Height[1] (cm)	Body mass[1] (kg)	Score DASH[1]/100	Personal training time[1](hours)
Violinists, N = 11	41.7 (11.1)	4/7	170.5 (5.7)	65 (11.3)	0 (0)	11 (4)
Control, N = 11	41.4 (12.6)	4/7	172 (9.3)	64.8 (11.7)	2.1 (6.1)	-

[1]Mean (SD)

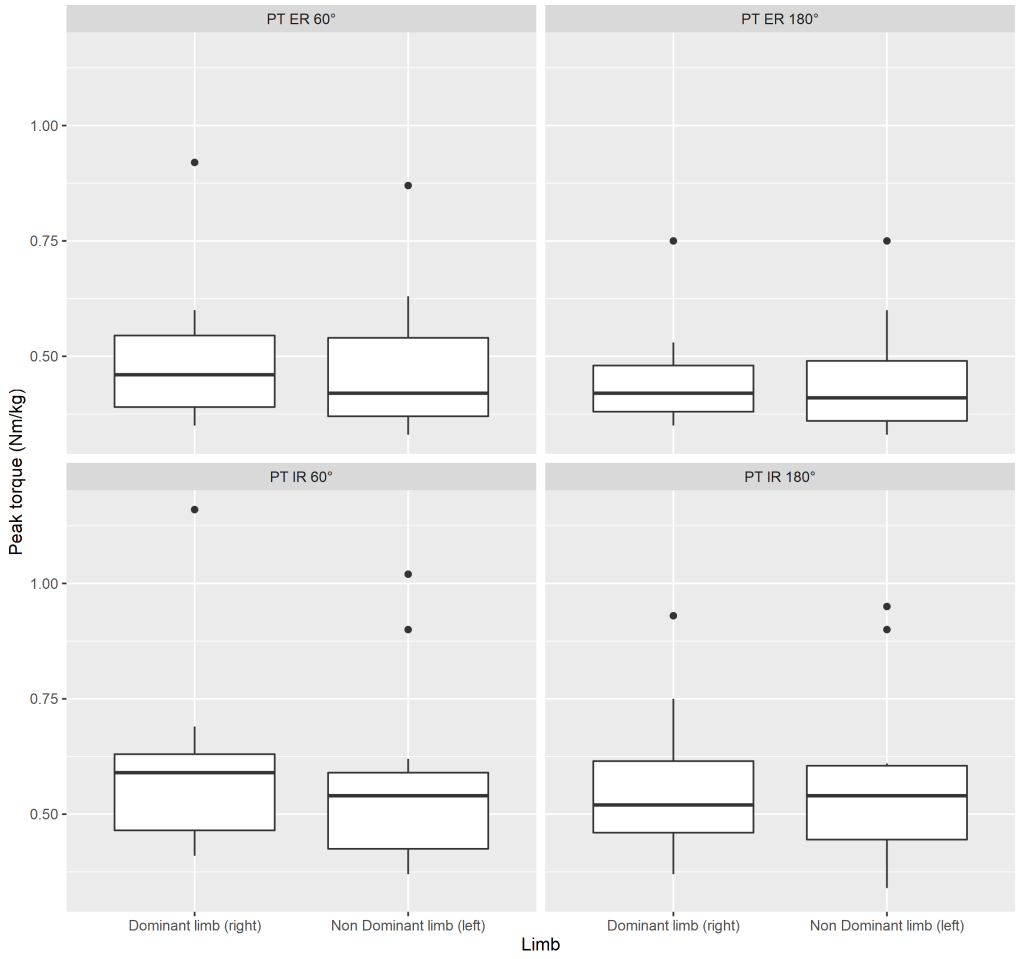
Figure 1 - Isokinetic installation

Table 2 - Concentric ER and IR strength values (peak torque) in Newton/Kg and ratios ER/IR at low (60 /s) and high angular velocity (180 /s) for the dominant and the non-dominant shoulders.

Direction	Velocity	Dominant limb (right), N = 11[1]	Non-dominant limb (left), N = 11[1]	Mean difference	P value
External rotation (Nm/ kg)	60°	0.50 (0.16)	0.48 (0.16)	μ=0.03 [-0.02 ; 0.07]	p=0.20
	180°	0.45 (0.11)	0.45 (0.13)	μ=0.00 [-0.03 ; 0.03]	p=0.95
Internal rotation (Nm/kg)	60°	0.60 (0.21)	0.57 (0.21)	μ=0.03 [-0.04 ; 0.10]	p=0.39
	180°	0.56 (0.16)	0.57 (0.20)	μ=-0.01 [-0.06 ; 0.05]	p=0.81
Ratio ER/IR	60°	0.85 (0.10)	0.86 (0.15)	μ=-0.01 [-0.08 ; 0.06]	p=0.79
	180°	0.82 (0.10)	0.82 (0.13)	μ=0.00 [-0.06 ; 0.07]	p=0.95

[1]Mean (SD)

Figure 2 - Boxplot of concentric ER and IR strength values (peak torque) in Newton/Kg and ratios ER/IR at low (60 /s) and high angular velocity (180 /s) for the dominant and the non-dominant shoulders.



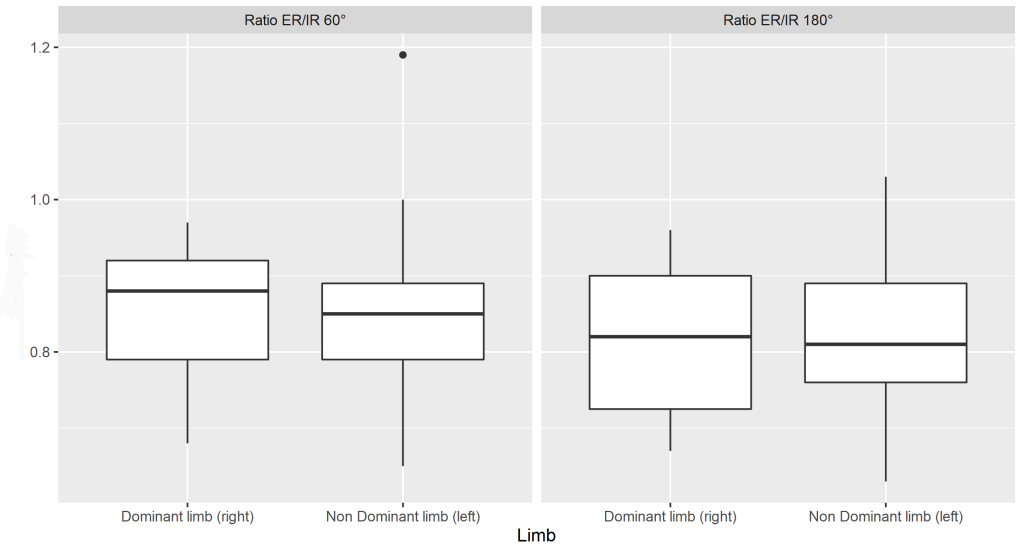


Table 3 - Concentric ER and IR strength values (peak torque) in Newton/Kg and ratios ER/IR at low (60 /s) for the dominant and the non-dominant shoulders between violinists and control group.

3 repetitions at 60°.s^{-1}		Violinists, N = 11[1]	Control, N = 11[1]	Mean difference[2]	P value
Dominant limb (right)	**PT-ER (Nm/kg)**	0.50 (0.16)	0.49 (0.10)	μ=0.02 [-0.10 ; 0.14]	p=0.74
	PT-IR (Nm/kg)	0.60 (0.21)	0.60 (0.13)	μ=0.00 [-0.16 ; 0.16]	p>0.99
	Ratio ER/IR	0.85 (0.10)	0.82 (0.14)	μ=0.03 [-0.08 ; 0.14]	p=0.58
Non-dominant limb (left)	**PT-ER (Nm/kg)**	0.48 (0.16)	0.47 (0.09)	μ=0.01 [-0.10 ; 0.13]	p=0.81
	PT-IR (Nm/kg)	0.57 (0.21)	0.60 (0.14)	μ=-0.03 [-0.19 ; 0.13]	p=0.73
	Ratio ER/IR	0.86 (0.15)	0.80 (0.12)	μ=0.06 [-0.06 ; 0.18]	p=0.29

[1]Mean (SD)

PT-ER = Peak Torque of External Rotation; PT-IR = Peak Torque of Internal Rotation; Ratio ER/IR = Unilateral Ratio

Table 4 - Concentric ER and IR strength values (peak torque) in Newton/Kg and ratios ER/IR at high (180 /s) for the dominant and the non-dominant shoulders between violinists and control group.

5 repetitions at 180°.s^{-1}		Violinists, N = 11[1]	Control, N = 11[1]	Mean difference	P value
Dominant limb (right)	**PT-ER (Nm/kg)**	0.45 (0.11)	0.43 (0.08)	μ=0.02 [-0.07 ; 0.11]	p=0.60
	PT-IR (Nm/kg)	0.56 (0.16)	0.56 (0.11)	μ=0.00 [-0.12 ; 0.12]	p=0.99
	Ratio ER/IR	0.82 (0.10)	0.78 (0.14)	μ=0.04 [-0.07 ; 0.15]	p=0.43
Non-dominant limb (left)	**PT-ER (Nm/kg)**	0.45 (0.13)	0.43 (0.08)	μ=0.02 [-0.08 ; 0.12]	p=0.68
	PT-IR (Nm/kg)	0.57 (0.20)	0.57 (0.12)	μ=0.00 [-0.14 ; 0.15]	p=0.96
	Ratio ER/IR	0.82 (0.13)	0.77 (0.14)	μ=0.05 [-0.07 ; 0.16]	p=0.42

[1]Mean (SD)

PT-ER = Peak Torque of External Rotation; PT-IR = Peak Torque of Internal Rotation; Ratio ER/IR = Unilateral Ratio

Figure 3 - Boxplot of concentric internal and external rotation strength values (peak torque) in Newton/Kg and ratios ER/IR at low (60 /s) and high angular velocity (180 /s) between both groups.

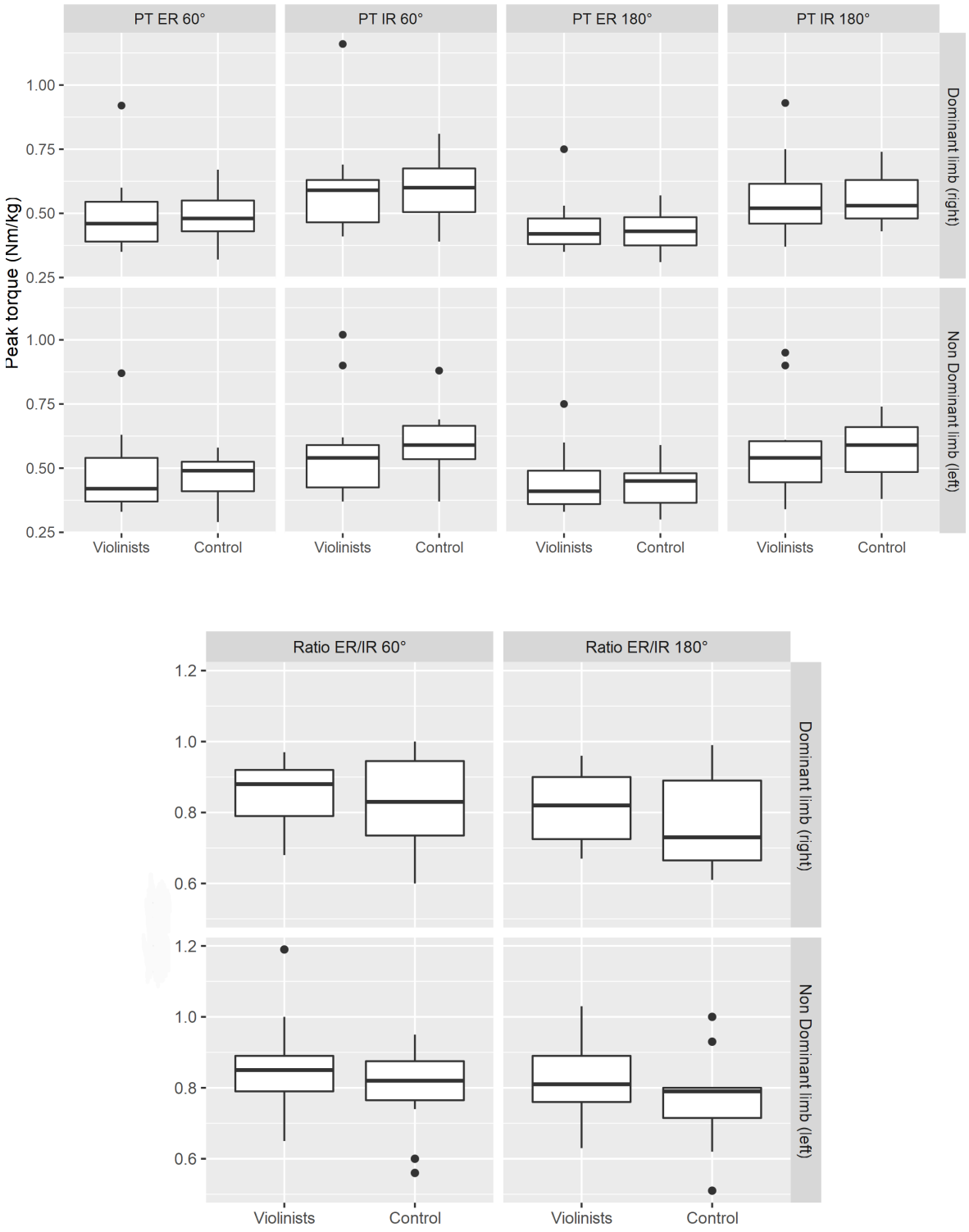


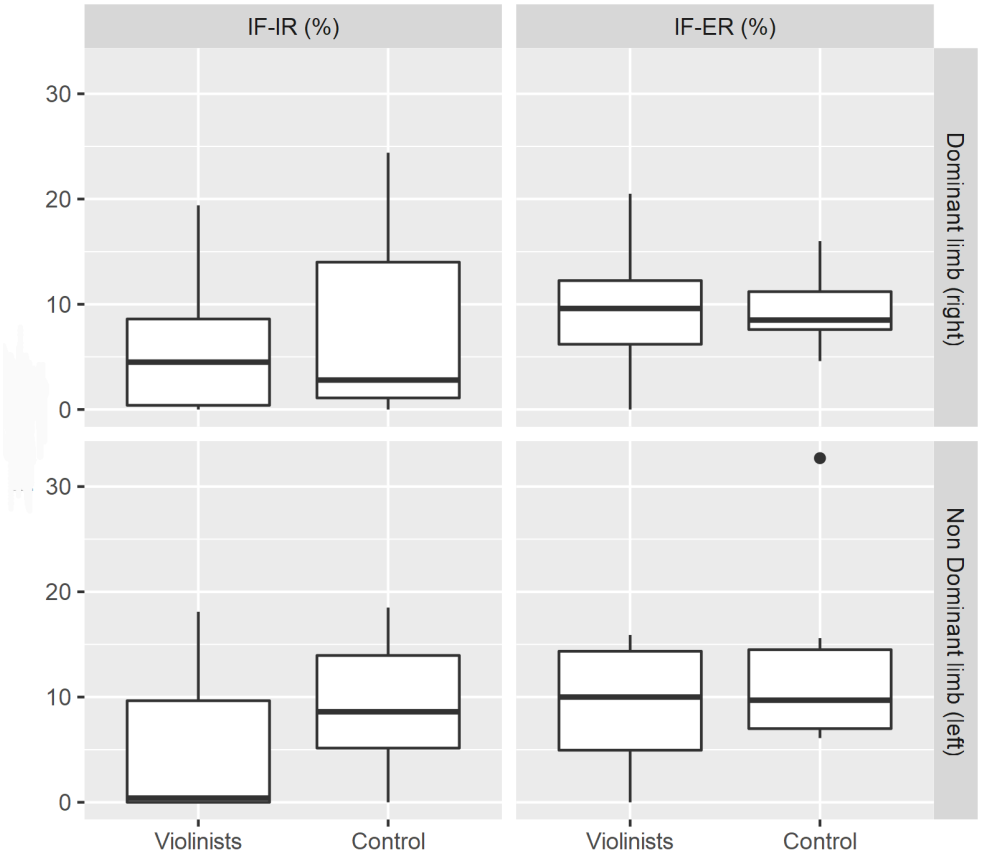
Table 5 - Fatigue Index between the groups for evaluations at 240° · s-1

Characteristic	Violinists, N = 11[1]	Control, N = 11[1]	Mean difference	P value
R IF-ER (%)	9.2 (6.3)	9.7 (3.5)	μ=-0.46 [-5.1 ; 4.1]	p=0.83
R IF-IR (%)	6 (6)	8 (9)	μ=-2.2 [-9.4 ; 4.9]	p=0.52
L IF-ER (%)	9.3 (5.7)	12.0 (7.7)	μ=-2.6 [-8.7 ; 3.4]	p=0.37
L IF-IR (%)	5.2 (6.9)	9.1 (6.5)	μ=-3.9 [-9.9 ; 2.0]	p=0.18

[1]Mean (SD)

IF-ER = Fatigue Index of External Rotation; IF-IR = Fatigue Index of Internal Rotation

Figure 4 - Boxplot of Index Fatigue for internal and external rotation between both groups



Discussion des résultats

La pratique du violon par la configuration même de l'instrument engage de façon majeure le système musculo-squelettique du musicien avec une sollicitation marquée de la coiffe des rotateurs. Comme nous l'avons vu précédemment, les mouvements d'archet impliquent une répétition d'abduction/flexion antérieure, et rotation médiale à vitesse parfois élevée au membre supérieur droit avec à gauche une attitude quasi statique en flexion antérieure et rotation externe extrême. Des études ont montré que les personnes pratiquant des activités incluant des flexions ou abductions répétées du bras à plus de 60°, en particulier sur de longues périodes, étaient à haut risque de développer des TMS (34) faisant de la pratique du violon une activité particulièrement à risque. Certains musiciens ne développeront cependant pas de TMS tandis que d'autres en souffriront sévèrement. Au vu de la grande prévalence (2,5,6) des pathologies et des douleurs d'épaule dans les populations de violonistes professionnels, la recherche de facteurs prédisposants est un enjeu majeur de la médecine des musiciens, que ce soit dans le domaine de la prévention ou du traitement. Dans cette optique, nous nous sommes intéressés à l'impact physiologique d'une pratique intensive du violon sur la coiffe des rotateurs par une analyse isocinétique.

Dans notre étude nos groupes musiciens et sujets contrôles étaient comparables pour l'âge, le poids, le ratio homme/femme, la taille, et le score Quick-DASH (score d'évaluation fonctionnelle des membres supérieurs). Comme paramètre principal, nous avons choisi d'utiliser le moment de force normalisé au poids du corps, exprimé en Nm/Kg, représentant la force musculaire relative. Son utilisation est à privilégier pour la comparaison de sujets de groupes différents, et facilite la comparaison de données entres différentes études (52). Notre choix de vitesse respecte les recommandations actuelles avec une évaluation à vitesse lente à 60°/s et une évaluation à vitesse rapide à 180°/s (34). Le test d'endurance était réalisé à vitesse rapide (240°/s) sur 20 répétitions avec le calcul d'un indice de fatigue représentant le pourcentage de diminution du travail entre le premier tiers et le dernier tiers des répétitions. Le choix de la position est important en isocinétisme. Plusieurs positions sont actuellement utilisées dans l'évaluation musculaire de l'épaule (53). Dans notre étude nous avons adopté la position de Davies, le participant étant assis avec le bras positionné dans le plan de la scapula à 45° d'abduction pour sa bonne reproductibilité et la sécurité qu'elle confère lors des évaluations (42,53).

Le coefficient de variance, qui est le témoin d'une reproductibilité satisfaisante, était inférieur à 15% pour chaque évaluation permettant de confirmer la bonne réalisation des tests.

Notre étude retrouve l'absence de différences significatives de la force relative et des ratios entre les épaules du bras d'archet et du bras de support chez le violoniste à vitesse lente et rapide. En pratique une différence de force entre les deux membres est considérée comme normale jusqu'à 15%, pouvant être en lien avec des imprécisions de mesure. Ces résultats indiquent que la pratique du violon n'a pas de retentissement notable sur l'harmonie musculaire de la coiffe des rotateurs entre les deux épaules du musicien.

Les résultats ne montrent pas de différences significatives entre le groupe de musiciens et le groupe contrôle aux deux vitesses. Ces résultats montrent l'absence de faiblesse ou de déséquilibre musculaire de la coiffe des rotateurs liés à une pratique intensive du violon. Concernant les ratios, bien qu'aucune différence significative n'ait été retrouvée, on note des ratios moyens supérieurs dans le groupe des violonistes dans toutes les modalités (de 0,82 à 0,86). Les ratios du groupe musiciens sont également supérieurs aux données de la littérature qui situent les ratios entre 0,6 et 0,8 (54-56). De nombreuses études retrouvent un déséquilibre des ratios associé à une pathologie telle que le conflit sous acromial ou l'instabilité d'épaule mais les données sont parfois contradictoires dans le sens du déséquilibre (35,49,51,53). La variété des protocoles utilisés et la différence entre les populations rendent la comparaison des résultats difficile. Il manque encore des études prospectives à large échantillon pour appréhender davantage le rôle d'un déséquilibre dans la physiopathologie de l'épaule (57).

L'étude des ratios présente toutefois plusieurs limites. Sa reproductibilité est moins bonne que celle du moment de force (42) et les ratios rendent compte de valeurs obtenues à des angles différents pour les groupes agoniste et antagoniste. Des études sectorielles de ratio ont vues le jour récemment (58,59) permettant de caractériser l'équilibre agoniste/antagoniste sur des sections angulaires précises, pour une meilleure appréhension de la balance musculaire sur l'ensemble du mouvement. Dans le domaine du violon, il pourrait être ainsi intéressant de caractériser la balance musculaire dans les secteurs angulaires particulièrement sollicités lors du jeu sur chaque cordes, pour être au plus près du geste musical.

L'étude de l'indice de fatigabilité ne retrouve pas de différence significative entre les deux groupes. On note cependant que les indices de fatigue sont inférieurs dans le groupe de violonistes dans toutes les modalités, en particulier pour le membre supérieur gauche avec une différence moyenne de -2,6% pour les rotateurs externes et -3,9% pour les rotateurs internes.

Le manque de puissance de l'étude en raison d'un échantillon réduit peut constituer un facteur limitant pour la mise en évidence d'une différence significative. La sollicitation prolongée du membre supérieur gauche lors du jeu pourrait expliquer la meilleure endurance musculaire du bras de support, les sujets contrôles utilisant moins de mouvements de rotation du bras non dominant dans la vie quotidienne. Un plus grand nombre de sujets serait nécessaire pour améliorer la puissance statistique de l'étude et pouvoir établir ainsi des conclusions plus fiables.

Plusieurs études ont montré l'impact de la fatigue musculaire sur le système musculo-squelettique. Nous avons vu précédemment que la fatigue de la coiffe des rotateurs était associée à une migration supérieure exagérée de la tête humérale et une diminution de la rotation externe de l'humérus lors de l'élévation du bras conduisant à un rétrécissement de l'espace sous-acromial (36,37,60).

Parallèlement, plusieurs études ont montré une variation de la cinématique articulaire du membre supérieur et de la stratégie de recrutement musculaire avec la progression de la fatigue musculaire lors de tâches répétitives, identifiée comme un processus de protection (61,62). Ce phénomène de variabilité motrice (ou muscular redundancy pour les anglo-saxons) permet de diminuer la charge sur les tissus d'une répétition à l'autre, en réduisant ainsi le risque de blessure et de fatigue (63).

Duprey et al. (64) retrouvaient une variabilité intra-individuelle faible de la cinématique et des patterns d'activation musculaire lors du test de 18 archets de poids différents suggérant que chaque musicien présentait un geste musical spécifique, pouvant être un frein à cette capacité de changement de stratégie motrice. Dans ce contexte, l'endurance musculaire de la coiffe des rotateurs apparait alors comme un élément essentiel de l'épaule saine du violoniste, la variabilité motrice étant potentiellement inhibée par les longues années d'apprentissage.

D'autres études sont nécessaires pour approfondir le rôle de la fatigue musculaire de la coiffe des rotateurs dans la physiopathologie de l'épaule chez le musicien, en particulier lors d'une performance.

Points forts de notre étude:

- Il s'agit de la première étude s'intéressant à l'évaluation isocinétique de musiciens. Elle apporte des éléments nouveaux dans le domaine de la biomécanique du geste musical et son impact sur le système musculo-squelettique du musicien. La littérature internationale est

encore réduite en ce qui concerne les adaptations physiologiques et désadaptations pathologiques liées à la pratique musicale.

- L'étude a été réalisée avec la participation de musiciens professionnels d'un orchestre philharmonique. Peu d'études expérimentales concernent les musiciens d'orchestre, la plupart se focalisant sur les étudiants en école de musique. Il s'agit d'un élément important pour la généralisation des résultats à des musiciens en activité.

Notre étude présente plusieurs limitations:

- L'échantillon réduit comprenant 11 musiciens peut être responsable d'un manque de puissance lors des tests statistiques. Le nombre de sujets était limité par la nécessité de réaliser les évaluations sur la même machine d'isocinétisme, nous contraignant pour des raisons logistiques à ne choisir que des musiciens issus du même orchestre.
- Il existe également un biais de sélection de type « volontariat »: en sélectionnant les violonistes non douloureux volontaires, nous avons sélectionné des musiciens ayant un certain interêt dans la prévention et la physiologie. Bien que respectant tous les critères de non inclusion concernant l'activité physique, la plupart pratiquait du yoga, une activité sportive de loisir ou des techniques psycho-corporelles comme la technique Alexander. Nous ne pouvons exclure la possibilité que ces violonistes presque « trop sains », puissent être éloignés du violoniste d'orchestre habituel pouvant être plus à risque de développer une pathologie liée à la pratique. Cependant ce biais est particulièrement difficile à éliminer dans une étude expérimentale. Pour de prochains travaux, il pourrait être intéressant de recruter différents profils de musiciens en sensibilisant en amont les musiciens pour favoriser leur participation, par exemple lors d'ateliers de prévention dédiés. Un échantillon plus important permettrait également de limiter l'effet de ce biais.
- L'isocinétisme présente également des limites. Il existe une variabilité inhérente à toute épreuve isocinétique. Pour réduire les biais de mesure, nous avons mis en place une standardisation de la procédure d'évaluation pour l'échauffement, l'installation, et la réalisation des tests. Le programme de test étant paramétré au préalable dans l'ordinateur, il a été strictement respecté pour tous les participants. Les tests ont été effectués par le même opérateur avec une stimulation verbale identique pour encourager chaque participant à donner sa force maximale tout au long du test. Enfin, bien que l'isocinétisme permette une évaluation dynamique, elle est loin de la réalité fonctionnelle du geste musicale, la position de test n'étant pas la position de jeu habituelle.

IMPLICATIONS CLINIQUES ET PERSPECTIVES

Suite aux résultats de notre étude et devant le rôle majeur que joue la coiffe des rotateurs dans la biomécanique de l'articulation scapulo-humérale d'autres sujets de recherche nous apparaissent pertinents:

- La réalisation d'une analyse isocinétique comparative entre violonistes sains et pathologiques et un suivi longitudinal des musiciens pour mieux appréhender le rôle de la balance musculaire et de l'endurance dans la physiopathologie des lésions d'épaule.

- Une exploration plus spécifique de l'endurance musculaire des violonistes en situation de jeu avec une analyse par électromyogramme de la fatigabilité des muscles de la coiffe des rotateurs lors d'une performance scénique avec une comparaison entre sujets sains et pathologiques. L'analyse de ces données combinée à une évaluation cinématique de l'épaule permettrait d'étudier précisément l'effet de la fatigue liée à une performance sur la biomécanique de l'articulation gléno-humérale.

L'objectif principal de cet axe de travail est la recherche de facteurs de risque individuels intrinsèques de pathologies d'épaule, pour l'élaboration de programmes de prévention et de traitements adaptés à chaque musicien.

Conclusion

Ce travail permet de conclure à l'absence de perturbations de la balance musculaire agoniste/ antagoniste, de la force et de l'endurance de la coiffe des rotateurs induites par la pratique du violon à niveau professionnel chez les musiciens sains. Le violon n'induit ainsi pas de déséquilibre pathologique susceptible d'entrainer une dysfonction de l'épaule. Nos résultats ouvrent sur de nouvelles perspectives de recherche avec la comparaison de musiciens sains et de musiciens présentant une pathologie d'épaule, pour mieux appréhender l'impact de ces facteurs sur le mécanisme lésionnel.

Appendices

Annexe 1. Position typique de jeu sur chaque corde

Corde de Mi

Corde de La

Corde de Ré

Corde de Sol

Annexe 2. Questionnaire Quick DASH

Quick DASH

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.	**Pendant les 7 derniers jours**, 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.	**Pendant les 7 derniers jours**, 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 *Quick*DASH n'est pas valable s'il y a plus d'une réponse manquante.

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

MODULE PROFESSIONNEL (OPTIONNEL)

Les questions suivantes concernent la gêne occasionnée par votre épaule, votre bras ou votre main **au cours de votre travail (y compris les travaux ménagers s'il s'agit de votre activité principale).**

Précisez la nature de votre travail/métier : _____

☐ **Je ne travaille pas** (Vous pouvez sauter cette partie du questionnaire)

Entourez la réponse qui décrit le plus précisément vos possibilités durant les 7 derniers jours.

Avez-vous eu des difficultés :	**Aucune difficulté**	**Difficulté légère**	**Difficulté moyenne**	**Difficulté importante**	**Impossible**
1. Pour travailler en utilisant votre technique habituelle ?	1	2	3	4	5
2. Pour travailler comme d'habitude à cause de la douleur de votre épaule, de votre bras ou de votre main ?	1	2	3	4	5
3. Pour travailler aussi bien que vous le souhaitez ?	1	2	3	4	5
4. Pour passer le temps habituellement consacré à votre travail ?	1	2	3	4	5

MODULE SPORTS/ACTIVITES ARTISTIQUES (OPTIONNEL)

Les questions suivantes concernent la gêne occasionnée par votre épaule, votre bras ou votre main **lorsque vous jouez d'un instrument ou que vous pratiquez un sport ou les deux**. Si vous pratiquez plusieurs sports ou plusieurs instruments (ou les deux), vous êtes priés de répondre en fonction de l'activité qui est la plus importante pour vous.

Indiquez le sport ou l'instrument qui est le plus important pour vous : _____

☐ Je ne pratique aucun sport ni aucun instrument. (Vous pouvez sauter cette partie du questionnaire)

Entourez 1 seule réponse par ligne, considérant vos possibilités durant les 7 derniers jours.

Avez-vous eu des difficultés :	**Aucune difficulté**	**Difficulté légère**	**Difficulté moyenne**	**Difficulté importante**	**Impossible**
1. Pour pratiquer votre sport ou jouer de votre instrument **avec votre technique habituelle ?**	1	2	3	4	5
2. Pour pratiquer votre sport ou jouer de votre instrument **à cause des douleurs** de votre épaule, de votre bras ou de votre main ?	1	2	3	4	5
3. Pour pratiquer votre sport ou jouer de votre instrument **aussi bien que vous le souhaitez ?**	1	2	3	4	5
4. Pour passer le temps habituel à pratiquer votre sport ou jouer de instrument ?	1	2	3	4	5

Calcul du score pour les modules optionnels : Additionner les valeurs obtenues pour chaque réponse ; diviser par 4 (nombre de réponses) ;soustraire1 ; multiplier par 25
Le score n'est valable pour les modules optionnels qu'en l'absence de réponse manquante.

Annexe 3. Avis du comité d'éthique

COMITE de PROTECTION des PERSONNES
SUD-OUEST ET OUTRE-MER 2
Secrétariat : Mme REY
AGENCE REGIONALE de SANTE OCCITANIE – Bureau 1048
10 chemin du raisin - 31050 TOULOUSE CEDEX 9
Tél. : 05 34 30 27 56 - Fax 05 34 30 27 38 - Mail : cppsoom2@ars.sante.fr

Médecine des arts
M. André François Arcier
715 Chemin du Quart
82000 Montauban

Toulouse, le 18 décembre 2020

Monsieur,

Dans sa séance du 18 décembre 2020, conformément à l'article R. 1123-23 du Code de la Santé Publique, le Comité restreint du Comité de Protection des Personnes (C.P.P.) Sud-Ouest et Outre-Mer II a examiné le projet de recherche intitulé :

L'épaule du violoniste: évaluation isocinétique des muscles de la coiffe des rotateurs. Protocole version 3.0 du 09/2020 – n° ID-RCB : 2020-A03181-38 **(Dossier 2-20-117 id10364) 3°**

que vous lui avez soumis en qualité de promoteur et dont l'investigateur coordonnateur est le Dr Kuta.

Etaient présents : Mme AURIOL et Mme MAUPAS-SCHWALM (1er collège), Mr BOULANOUAR (1er collège et méthodologiste) Mme LASSERRE (2ème collège) et Mme COUDERC (1er collège, Présidente).

Après avoir étudié les documents suivants : l'auto-questionnaire version 1 du 25/11/2020, le courrier de demande daté du 20/11/2020, le formulaire de demande daté du 20/11/200, la liste des investigateurs version 1 du 25/11/2020, le CV du Dr Kuta, la note d'information version 2 du 18/11/2020, le protocole version 3.0 du 09/2020, le résumé version 1 du 25/11/2020, la déclaration de conformité à une méthodologie de référence MR003 datée du 21/11/2020.

Après avoir entendu le rapporteur et délibéré le comité fait de votre dossier l'analyse suivante:
Votre projet est bien une **étude observationnelle** conforme au 3° de l'article 1121-1 du CSP.

La justification de l'étude semble pertinente et les **objectifs** de votre recherche sont bien définis et bien argumentés.

Les moyens mis en œuvre pour atteindre ces objectifs sont décrits avec suffisamment de précision et semblent bien adaptés à la solution du problème abordé.

La protection des données des patients (justification, mode de circulation des données, destinataires des données personnelles traitées, durée de conservation des données, transfert des données en dehors de l'UE, la description de l'utilisation exclusive ou non de données extraites de systèmes d'information existants ou de bases déjà réalisées) est conforme aux attentes.

Les questionnaires de l'étude sont fournis et sont conformes aux attentes.

La déclaration de conformité à une méthodologie de référence (MR003) est fournie.

La notice d'information est clairement rédigée mais ne contient pas toutes les mentions nécessaires.

En conséquence, le CPP Sud-Ouest et Outre-Mer II émet un

AVIS FAVORABLE

à la réalisation de votre recherche.

Je vous prie d'agréer, Monsieur, l'assurance de ma considération distinguée.

La Présidente
Pr Bettina COUDERC

BIBLIOGRAPHIE

1) Zaza C, Charles C, Muszynski A. The meaning of playing-related musculoskeletal disorders to classical musicians. Soc Sci Med 1998;47:2013–202
2) Kok, Laura M et al. “The occurrence of musculoskeletal complaints among professional musicians: a systematic review.” *International archives of occupational and environmental health* vol. 89,3 (2016): 373-96.
3) ALLIEU.Y, les différents aspects de la pathologie de la main et du membre supérieur des musiciens, médecine des arts, 1995,12-13.
4) Fry HJ. Incidence of overuse syndrome in the symphony orches-tra. Med Probl Perform Art. 1986;1(2):51–55.
5) Lee, Han-Sung et al. “Musicians' medicine: musculoskeletal problems in string players.” *Clinics in orthopedic surgery* vol. 5,3 (2013): 155-60.
6) Fishbein M, Middlestadt SE, Ottati V, Straus S, Ellis A. Medical problems among ICOSM musicians: overview of a national survey. Med Probl Perform Art 1988;3:1
7) Moraes, Geraldo Fabiano de Souza, and Adriana Papini Antunes. “Musculoskeletal disorders in professional violinists and violists. Systematic review.” *Acta ortopedica brasileira* vol. 20,1 (2012): 43-7. d
8) Ajidahun, Adedayo T et al. “Musculoskeletal problems among string instrumentalists in South Africa.” *The South African journal of physiotherapy* vol. 73,1 327. 3 Feb. 2017
9) Susan E. Middlestadt, Martin Fishbein From: Medical Problems of Performing Artists: Volume 4 Number 1: Page 41
10) Chong J, Lynden M, Harvey D, Peebles M. Occupational health problems of musicians. *Can Fam Physician*. 1989;35:2341-2348.
11) Geraldo Fabiano de Souza Moraes, Adriana Papini Antunes. Acta Ortop Bras. 2012.
12) Brandfonbrener, A. G. (2003). Musculoskeletal problems of instrumental musicians. Hand Clinics, 19(2), 231–239.
13) Baadjou, V. A. E., Roussel, N. A., Verbunt, J. A. M. C. F., Smeets, R. J. E. M., & de Bie, R. A. (2016). Systematic review: risk factors for musculoskeletal disorders in musicians. Occupational Medicine, 66(8), 614–622.
14) Zaza C, Farewell VT. Musicians' playing-related musculoskeletal disorders: an examination of risk factors. Am J Ind Med. 1997;32:292–300.
15) Hoppmann RA. Instrumental musicians’ hazards. Occup Med.2001;16(4):619–31.
16) Kaufman-Cohen, Y., & Ratzon, N. Z. (2011). Correlation between risk factors and musculoskeletal disorders among classical musicians. Occupational Medicine, 61(2), 90–95.
17) Brandfonbrener A.G, 2002, ‘Joint laxity and arm pain in a large clinical sample of musicians’, *Medical Problems of Performing Artists* 17, 113–115.

18) AF-Arcier, Prévention des pathologies du musicien, collection médecine des arts.

19) Islan M, Blaya F, Pedro PS, D'Amato R, Urquijo EL, Juanes JA. Analysis and Fem Simulation Methodology of Dynamic Behavior of Human Rotator Cuff in Repetitive Routines: Musician Case Study. J Med Syst. 2018 Feb 5;42(3):55.

20) Lee, Han-Sung et al. “Musicians' medicine: musculoskeletal problems in string players.” *Clinics in orthopedic surgery* vol. 5,3 (2013): 155-60.

21) Steinmetz A, Seidel W, Niemier K. Shoulder pain and holdingposition of the violin: a case report. Med Probl Perform Art. 2008;23(2):79–81

22) Visentin P, Shan G. A Quantitative three-dimensional analysis of arm kinematics during violin performance. *Med Probl Perform Art*. 2003;18(3):91–7.

23) Wales, Jennifer: 3D movement and muscle activity patterns in a violin bowing task,Faculty of Applied Health Sciences, Brock University, St. Catharines, (2007).

24) Turner-Stokes, L., & Reid, K. (1999). Three-dimensional motion analysis of upper limb movement in the bowing arm of string-playing musicians. Clinical Biomechanics.

25) S. Duprey, B. Michaud & M. Begon (2017) Muscular activity variations of the right bowing arm of the violin player, Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, 20:sup1, 71-72.

26) Prévention des pathologies des musiciens, sous la direction du Pr Tubiana, MDA, alexitère.

27) Tibone J, Patek R, Jobe FW, et al. Functional anatomy, biomechanics, and kinesiology. In : Orthopaedic sports medicine. Principles and practice. Jesse C. DeLee, David Drez Jr. Philadelphia : Saunders, 1994 ; 463-80.

28) DUFOUR M., PILLU M. Biomécanique fonctionnelle. Paris : Elsevier Masson, 2006.

29) Friedmann RJ (1997) Biomechanics of the rotator cuff. In:Gazielly DF, Gleyze P, Thomas T (eds) Elsevier, Paris.

30) Howell SM, Imobersteg M, Seger DH, Marone PJ 1986ClariÆcation of the role of the supraspinatus muscle in shoulder function. The Journal of Bone and Joint Surgery.

31) Mizrahi J. Neuro-mechanical aspects of playing-related mobility disorders in orchestra violinists and upper strings players: a review. *Eur J Transl Myol*. 2020;30(3):9095.

32) Thomas SC, Matsen FA. An approach to the repair of avulsion of the glenohumeral ligaments in the management of traumatic anterior glenohumeral instability. J Bone Joint Surg Am 1989.

33) L'instabilité gléno-humérale : du diagnostic au traitement, H. Meyer A. Farron, Rev Med Suisse 2002; volume -2. 22595.

34) Roquelaure Y, Bodin J, Ha C et al. Personal, bio- mechanical, and psychosocial risk factors for rotator cuff syndrome in a working population. Scand J Work Environ.

35) Bey MJ, Song HK, Wehrli FW, Soslowsky LJ. Intratendinous strain fields of the intact supraspinatus tendon: the effect of glenohumeral joint position and tendon region. J Orthop Res. 2002 Jul;20(4):869-74.

36) Batalha, N. M., Raimundo, A. M., Tomas-Carus, P., Barbosa, T. M., & Silva, A. J. (2013). Shoulder Rotator Cuff Balance, Strength, and Endurance in Young Swimmers During a Competitive Season. Journal of Strength and Conditioning Research, 27(9), 2562–2568.

37) Warner JJ, Micheli LJ, Arslanian LE, et al. Patterns of flexibility, laxity, and strength in normal shoulders and shoulders with instability and impingement. Am J Sports Med. 1990;18:366–375

38) Codine, P., Bernard, P. L., Pocholle, M., & Herisson, C. (2005). Évaluation et rééducation des muscles de l'épaule en isocinétisme : méthodologie, résultats et applications. Annales de Réadaptation et de Médecine Physique, 48(2), 80–92.

39) Ide J, Maeda S, Yamaga M, Morisawa K, Takagi K. Shoulder strengthening exercise with an orthosis for multidirectional shoulder instability: quantitative evaluation of rotational shoulder strengthbefore and after the exercise program. J Shoulder Elbow Surg 2003;12:342–5.

40) Leroux JLL, Codine P, Thomas E, Pocholle M, Mailhe D, Blotman F.Isokinetic evaluation of rotational strength in normal shoulders and shoulders with impingement syndrome. Clin Orthop Rel Res 1994;304:108–15.

41) Chopp, J. N., O'Neill, J. M., Hurley, K., & Dickerson, C. R. (2010). Superior humeral head migration occurs after a protocol designed to fatigue the rotator cuff: A radiographic analysis. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 19(8), 1137-1144.

42) Royer, P. J., Kane, E. J., Parks, K. E., Morrow, J. C., Moravec, R. R., Christie, D. S., & Teyhen, D. S. (2009). Fluoroscopic assessment of rotator cuff fatigue on glenohumeral arthrokinematics in shoulder impingement syndrome. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 18(6), 968-975.

43) D.C. Feiring, T.S. Ellenbecker, G.L. Dercheid Test-retest reliability of the Biodex isokinetic dynamometer J Orthop Sports Phys Ther, 11 (1990), pp. 298-300.

44) Edouard, P., Samozino, P., Julia, M., Cervera, S. G., Vanbiervliet, W., Calmels, P., & Gremeaux, V. (2011). Reliability of Isokinetic Assessment of Shoulder-Rotator Strength: A Systematic Review of the Effect of Position. Journal of Sport Rehabilitation, 20(3), 367–383.

45) Cosmin, Horobeanu*, Jean Louis, Croisier & Benedicte, Forthomme. (2019). Shoulder Muscular Fatigue: Application, Assessment And Clinical Implications.

46) Roy, J. S., Ma, B., Macdermid, J. C., & Woodhouse, L. J. (2011). Shoulder muscle endurance: The development of a standardized and reliable protocol. Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology.

47) Croisier, J. and J. Crielaard. "Exploration isocinétique: analyse des paramètres chiffrés." Annals of Physical and Rehabilitation Medicine 42 (1999): 538-545.

48) Plotnikoff NA, MacIntyre DL. Test–retest reliability of glenohumeral internal and external rotator strength. Clin J Sport Med. 2002;12:367–372.

49) Edouard P, Calmels P, Degache F. Proposition of the isokinetic assessment position of the rotators muscle shoulder. Sci Sports. 2009;24:207–209.

50) Edouard P, Calmels P, Degache F. The effect of gravitational correction on shoulder internal and external rotation strength. Isokinet Exerc Sci. 2009;17:35–39.

51) Leroux JLL, Codine P, Thomas E, Pocholle M, Mailhe D, Blotman F.Isokinetic evaluation of rotational strength in normal shoulders and shoulders with impingement syndrome. Clin Orthop Rel Res 1994;304:108–15.

52) Wrigley T, Grant M. Isokinetic dynamometry. In: Zuluaga M, Briggs C, Carlisle J, et al, editors. Sports physiotherapy: applied science and practice. New York: Churchill Livingstone; 1995.

53) Dulgeroglu, Deniz & Kirbiyik, Eylem & Ersoz, Murat & Özel, S.. (2013). Evaluation of Shoulder Rotational Strength in Patients with Subacromial Impingement Syndrome Using a Computerized Isokinetic Dynamometer. Journal of Musculoskeletal Pain.

54) Ellenbecker TS, Davies GJ. The Application of Isokinetics in Testing and Rehabilitation of the Shoulder Complex. J Athl Train 2000; 35: 338-350.

55) Codine P, Bernard PL, Pocholle M, Benaim C, Brun V. Influence of sports discipline on shoulder rotator cuff balance. Med Sci Sports Exerc 1997; 29: 1400-1405.

56) Edouard P, Frize N, Calmels P, Samozino P, Garet M, Degache F. Influence of rugby practice on shoulder internal and external rotators strength. Int J Sports Med. 2009 Dec;30(12):863-7.

57) Page P. (2011). Shoulder muscle imbalance and subacromial impingement syndrome in overhead athletes. *International journal of sports physical therapy*, *6*(1), 51–58.

58) Dehail, P., Gagnon, D., Noreau, L., & Nadeau, S. (2008). Assessment of agonist–antagonist shoulder torque ratios in individuals with paraplegia: a new interpretative approach. Spinal Cord, 46(8), 552–558.

59) Cozette M, Leprêtre P-M, Doyle C and Weissland T (2019) Isokinetic Strength Ratios: Conventional Methods, Current Limits and Perspectives. Front. Physiol. 10:567.

60) Ebaugh DD, McClure PW, Karduna AR: Effects of shoulder muscle fatigue caused by repetitive overhead activities on scapulothoracic and glenohumeral kinematics. J Electromyogr Kinesiol. 2006, 16: 224-235.

61) Qin, J., Lin, J.-H., Faber, G. S., Buchholz, B., & Xu, X. (2014). Upper extremity kinematic and kinetic adaptations during a fatiguing repetitive task. Journal of Electromyography and Kinesiology, 24(3), 404–411.

62) Madeleine P. On functional motor adaptations: from the quantification of motorstrategies to the prevention of musculoskeletal disorders in the neck-shoulder region. Acta Physiol (Oxf) 2010;199(Suppl 679):1–46.

63) Bartlett R, Wheat J, Robins M. Is movement variability important for sports biomechanists? Sports Biomech. 2007 May;6(2):224-43.

64) Sonia Duprey, Benjamin Michaud, Eric Gagne, Mickaël Begon. Bow influence on violinist gestures: upper arm angles and shoulder muscle activity. *FA2020, Forum Acusticum 2020*, Dec 2020, Lyon, France.

SERMENT

« Au moment d'être admise à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité. Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux. Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité. J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences. Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admise dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me sont confiés. Reçue à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs. Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.
Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonorée et méprisée si j'y manque ».