

MINISTÈRE DE LA SANTÉ
RÉGION LORRAINE
INSTITUT LORRAIN DE FORMATION EN MASSO-KINÉSITHÉRAPIE DE
NANCY

Élaboration d'une maquette de l'articulation scapulo-humérale à visée pédagogique

Mémoire présenté par **Victor LEROUX**
Etudiant en 3^{ème} année de masso-kinésithérapie
en vue de l'obtention du Diplôme d'État de
Masseur-Kinésithérapeute.
2012-1013.

SOMMAIRE

| | Page |
|----------------------------------------------|------|
| RÉSUMÉ | |
| 1. INTRODUCTION | 1 |
| 2. RAPPELS | 2 |
| 2.1 Anatomie | 2 |
| 2.1.1 Les os | 2 |
| 2.1.2 Les ligaments | 2 |
| 2.1.3 Les muscles | 4 |
| 2.2 Cinésiologie | 4 |
| 2.3 Physiopathologie | 5 |
| 2.4 Bankart Et Latarjet | 6 |
| 3. CONCEPTION | 7 |
| 4. LE MOUVEMENT D'ABDUCTION | 7 |
| 4.1 Le supra-épineux et le deltoïde | 7 |
| 4.2 L'abduction passive | 11 |
| 4.3 L'axe de rotation – les axes de rotation | 13 |
| 4.4 Le ligament gléno-huméral inférieur | 16 |
| 5. LES TESTS | 18 |
| 5.1 Le test de Jobe | 18 |
| 5.2 Le test de Neer | 20 |
| 5.3 Le test de Hawkins | 23 |
| 5.4 Les tests du subscapulaire | 25 |
| 6. DISCUSSION | 28 |
| 7. CONCLUSION | 29 |
| BIBLIOGRAPHIE | |

RÉSUMÉ

Le complexe articulaire de l'épaule avec ses cinq articulations fait l'objet d'un volume horaire conséquent en terme d'enseignement dans les instituts de formation en masso-kinésithérapie. Nous proposons différentes modélisations en trois dimensions de l'articulation scapulo-humérale afin d'aider les étudiants à la compréhension de la cinésiologie et de la physiopathologie de ce qui constitue le lien entre le tronc et le membre supérieur. Nous avons détaillé le mouvement d'abduction, les tests de Jobe, de Neer et de Hawkins ainsi que quatre protocoles liés au muscle subscapulaire.

Mots clés : épaule, maquette, scapulo-huméral, test, shoulder, model, scapulohumeral

INTRODUCTION

L'articulation de l'épaule est souvent considérée comme la plus compliquée de l'organisme, comme le confirme son appellation fréquente de « complexe de l'épaule ». En effet, il s'agit de 5 articulations combinées, chacune différente quand il faut s'intéresser à son fonctionnement propre.

Lors de notre parcours au sein de l'institut lorrain de formation en masso-kinésithérapie de Nancy, nous avons pu expérimenter le fonctionnement de l'articulation de la hanche dans une série de trois travaux pratiques. Nous nous sommes alors inspirés de cet enseignement pour élaborer une maquette de l'articulation de l'épaule et principalement de l'articulation scapulo – humérale, le but étant d'expliquer aux étudiants de première année dans cet institut de formation la cinésiologie de cette articulation. Ce sont les difficultés que nous avons rencontrées pendant notre cursus, et une pratique sportive sollicitant particulièrement cette zone qui nous ont aiguillé sur cette voie.

Dans ce travail écrit nous commençons par rappeler quelques éléments essentiels d'anatomie et de biomécanique ; ainsi qu'un aperçu rapide de la physiopathologie propre à cette région.

Nous continuons avec la présentation de la maquette – des maquettes, en fait – qui constitue le support aux explications théoriques en cinésiologie.

Ainsi les premiers modèles servent à décrire le mouvement d'abduction entre 0 et 120°, le rôle des muscles supra – épineux et deltoïde, et celui du ligament gléno – huméral inférieur.

Nous décrivons ensuite quelques tests essentiels à mettre en œuvre lorsqu'un patient présente des douleurs d'épaule, tests que nous tentons de reproduire à l'aide de différentes modélisations.

2. RAPPELS

2.1 Anatomie

L'articulation scapulo-humérale relie le membre supérieur au tronc, permettant ainsi l'orientation de la main de l'espace. Cette fonction nécessite donc à la fois stabilité et mobilité. Ces deux fonctions, pour le moins contradictoires, se traduisent sur le plan anatomique et biomécanique par la présence de nombreux muscles et ligaments péri articulaires, ainsi que par une configuration anatomique inédite. Halder (1) parle ainsi de « *ball-and-socket kinematics* » (fig. 1) ; c'est-à-dire une boule dans une soucoupe et donc une cinématique à rotule.

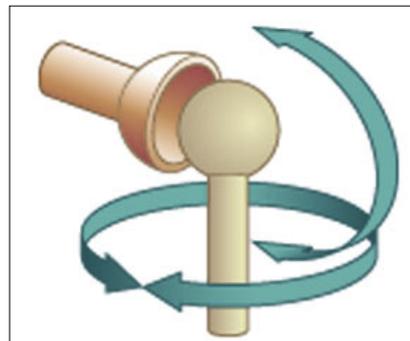


Figure 1 : ball-and-socket joint

2.1.1 Les os

La configuration anatomique de l'articulation est à l'image d'une boule dans une soucoupe. Il n'y a donc ni concordance – différence de rayon de courbure – ni congruence – faible surface articulaire en contact.

La glène, au niveau scapulaire, est orientée en avant, en dehors et en haut légèrement. Son grand axe est dirigé en haut et en avant. Pour Dufour (2), la tête humérale est comparable à 1/3 de sphère, orientée en arrière (35° à 40°), en dedans et en haut (130°). Le diamètre de la tête humérale est supérieur à celui de la glène, ce qui engendre la grande mobilité de l'articulation, en fait la plus ouverte de l'organisme.

2.1.2 Les ligaments

L'appareil ligamentaire de l'articulation scapulo-humérale est constitué du ligament coraco-huméral et du ligament gléno-huméral (fig. 2).

Le ligament coraco-huméral est constitué de deux faisceaux avec une origine commune sur le bord latéral des deux segments du processus coracoïde. Le faisceau supérieur

se termine à la face supérieure du tubercule majeur ; alors que le faisceau inférieur s'insère sur le bord supérieur du tubercule mineur. Entre les deux faisceaux, le tendon du muscle long biceps chemine dans sa portion qui est intracapsulaire.

Le ligament gléno-huméral est divisé en trois faisceaux, avec une origine commune sur le bord antérieur de la glène et du labrum :

- Le faisceau supérieur est horizontal et se termine à la partie antérieure du col anatomique.
- Le faisceau moyen s'insère sur le bord médial du tubercule mineur.
- Le faisceau inférieur s'accroche à la partie antéro-inférieure du col chirurgical.

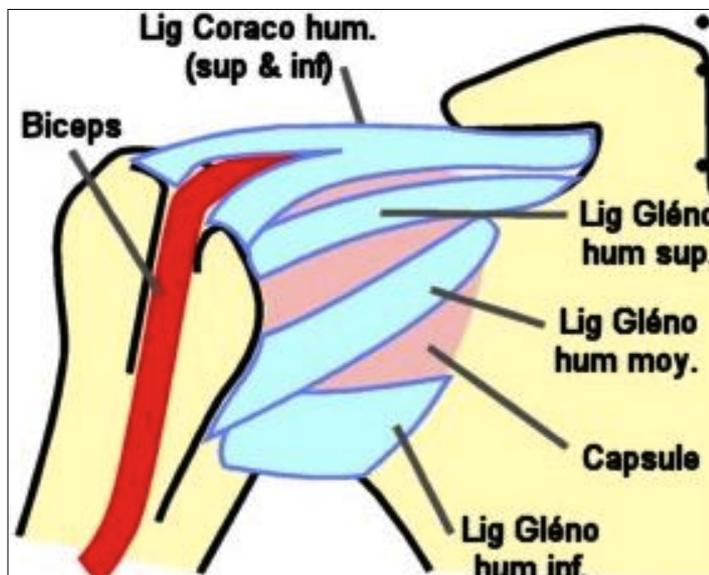


Figure 2 : les ligaments antérieurs de l'articulation scapulo-humérale

En fait ces deux entités forment un « double Z » qui croise l'interligne antérieur de l'articulation et contribue de façon majeure à sa stabilité.

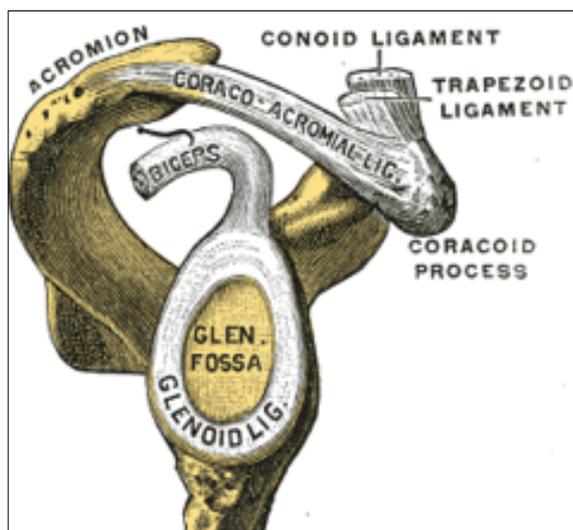


Figure 3 : la cavité glénoïdale en vue latérale

Il faut également citer le ligament coraco-glénoïdien (fig. 3) dirigé vers le bas et le dehors qui a un rôle de suspenseur de la capsule.

Enfin, le ligament coraco-acromial (fig. 3) tendu entre l'extrémité de l'acromion et le bord latéral du processus coracoïde, constitue une partie de la voûte coraco-acromiale, en recouvrant les tendons des muscles de la coiffe des rotateurs par l'intermédiaire de la bourse synoviale sous-acromiale.

2.1.3 Les muscles

Les muscles périarticulaires interviennent évidemment dans la mobilité de l'articulation, mais ils ont un rôle très important dans sa stabilisation, surtout par l'intermédiaire de leurs tendons. Ainsi le tendon du long biceps à la partie supérieure et profonde, celui du subscapulaire à la partie profonde et antérieure, celui du supra-épineux en dessous de l'acromion ; participent à la stabilité gléno-humérale. C'est en fait toute la coiffe des rotateurs qui est mise en jeu.

2.2 Cinésiologie

Comme nous l'avons précisé plus haut, il existe une différence de congruence entre le rayon de courbure de la glène scapulaire et celui de la tête humérale. Ainsi, lors des mouvements d'abduction la tête aura tendance à venir « buter » contre la voûte acromiale. C'est ce qui explique la nécessité d'un mouvement combiné de roulement (supérieur) et de glissement (inférieur) pour que le tubercule majeur puisse passer en dessous de l'acromion, et le ligament acromio-coracoïdien.

Il faut différencier l'abduction active et passive : la première est possible dans la seule articulation gléno-humérale jusqu'à 90°, contre 120° pour la seconde. Pour une abduction active plus importante, il faut une rotation externe de l'humérus afin que le tubercule majeur passe derrière l'acromion. Le mouvement d'abduction est possible jusqu'à 180°. L'amplitude maximale ayant été atteinte dans l'articulation gléno-humérale (120°), il faut un mouvement de la scapula pour atteindre les 180°. En l'occurrence, ce mouvement correspond à une rotation autour d'un axe se situant au niveau de l'articulation acromio-claviculaire, ce qui permet à la cavité glénoïdale d'être clairement orientée vers le haut. Il nous est impossible de parler de cinésiologie de l'abduction de l'épaule sans citer E. A. Codman (3). Il a en fait confirmé l'étude de Miramond de Laroquette (4) le premier à montrer que quelque soit l'amplitude d'abduction, 1/3 du mouvement est assuré par l'articulation scapulo-thoracique et les 2/3 restants par la scapulo-humérale. Toutefois, le mouvement de la scapula induit nécessairement un mouvement de l'articulation acromio-claviculaire par l'intermédiaire de l'acromion et du processus coracoïde. En effet, les ligaments trapezoïde et conoïde attachent solidement le processus coracoïde à la face inférieure de la clavicule. Avant 90° d'abduction,

la seule élévation de la clavicule suffit à permettre l'abduction en accompagnant la scapula dans sa bascule – sonnette – latérale. Ensuite, il faut que la clavicule tourne sur son axe longitudinal afin d'accompagner la scapula dans la poursuite de son mouvement.

2.3 Quelques mots de physiopathologie

La pathologie majeure de l'articulation scapulo-humérale est la luxation antérieure de la tête humérale. Il s'agit en fait d'une protrusion de l'épiphyse proximale à travers les tissus mous antérieurs, avec une perte de contact articulaire entre la glène scapulaire et la tête humérale. Taisne (5) estime la fréquence des luxations est de 10 cas pour 100 000 habitants en France. 50% des luxations de l'organisme étant des luxations gléno-humérales.

La configuration osseuse contribue à l'instabilité de l'articulation, mais l'orientation des surfaces articulaires par l'intermédiaire de la mobilité de la scapula a également une influence. En effet, Weiser (6) a montré que le positionnement scapulaire intervenait dans le contrôle de la translation antérieure de l'humérus (par le ligament gléno-huméral inférieur).

Levine (7) a montré qu'au plan musculaire, les contractions du supra-épineux et du subscapulaire en position intermédiaire, et celles du subscapulaire et de l'infra-épineux en abduction maximale permettent de réguler la coaptation articulaire entre la tête humérale et la glène. En fait pour Sirveaux, Molé et Walch (8), plus que les muscles de la coiffe des rotateurs (avec son élément le plus puissant le subscapulaire), ce sont les muscles périscapulaires qui jouent un rôle très important en orientant la glène.

Les ligaments sont – avec la capsule articulaire – les premières structures mises à contribution pour contrôler la stabilité de l'articulation :

- Le ligament gléno-huméral supérieur participe à la stabilité inférieure, mais pas antérieure.
- Turkel (9) et O'Connell (10) ont démontrés que le ligament gléno-huméral moyen s'occupe de la stabilité antérieure entre 60° et 90° d'abduction.
- Turkel, dans la même publication, montre que le ligament gléno-huméral inférieur est la seule structure qui intervient au delà de 90° d'abduction.

La présence d'un espace appelé *intervalle des rotateurs* joue un rôle dans la stabilité de la jonction : sa base est constituée par le processus coracoïde, son sommet par la gouttière du long biceps. En avant nous trouvons le bord supérieur du subscapulaire, et le bord antérieur du supra-épineux en arrière. Les ligaments coraco-huméral et gléno-huméral supérieur renforcent cet espace, et comme l'a montré Gagey (11), l'élévation maximale et la rotation externe sont limitées par le ligament coraco-huméral. Harryman (12) a également décrit un contrôle de la stabilité inférieure et postérieure par ce ligament.

Le labrum qu'à 10% à la stabilité articulaire chez Halder (13). C'est en fait l'association du labrum et du ligament gléno-huméral inférieur qu'il faut considérer pour justifier la stabilité de la tête humérale en abduction et rotation latérale.

2.4 Deux interventions chirurgicales qui permettent de traiter une instabilité d'épaule

L'intervention de Bankart est une opération qui se déroule soit à ciel ouvert soit sous arthroscopie. Il s'agit d'une réinsertion de la capsule et du labrum sur le bord antérieur de la glène. Le but est de reconstituer l'anatomie capsulo-ligamentaires pré-lésionnel. En général la capsule est retendue pour éviter le risque de récurrence mais cela engendre une perte de la rotation externe.

L'intervention de Patte est une évolution de la technique de Latarjet mise au point avec Trillat dans les années 1950. Elle consiste à placer en avant de la cavité glénoïdale un morceau du processus coracoïde. Cette butée coracoïdienne engendre trois conséquences : l'élargissement du diamètre antéro-postérieur de la glène, la re-tension capsulaire au niveau du moignon du ligament acromio-oracoïdien, effectuée en rotation externe maximale afin de ne pas limiter l'amplitude dans ce mouvement et le rôle suspenseur de la tête que joue le muscle coraco-brachial quand le bras est en position d'armé.

3. CONCEPTION

La réalisation de la maquette a impliqué l'utilisation de différents matériaux. La structure osseuse, base de la maquette a d'abord été réalisée en terre, sous la forme d'une sculpture de poterie. La terre glaise autorise – avant de sécher – d'énormes possibilités plastiques : il est possible de modifier la pièce dans des proportions que n'autorisent aucun autre matériau disponible à un coût abordable. Cela nous a permis d'obtenir un modèle en dur pour la modélisation finale en bois. Nous précisons que le premier essai a été réalisé avec de la boue utilisée en fangothérapie avec comme principal problème le séchage très rapide du matériau, et des modifications très difficiles au bout de quelques minutes.

Le bois nous est donc apparu comme le plus approprié pour y placer des insertions ligamentaires et musculaires modifiables à souhait. Pour l'essentiel, nous avons pu y percer des trous pour permettre de faire varier les insertions des structures périarticulaires. De plus, ce matériau bon marché et aisément disponible autorise la réfection des pièces, ou la réalisation de nouvelles pièces sans problèmes et rapidement. Nous avons en fait utilisé du bois de résineux qui présente l'avantage d'être souple et facilement modelable. Le bois de chêne est plus difficile à travailler car plus dense et peut céder sous forme de trait de refend lors de la mise en place de clous.

4. LE MOUVEMENT D'ABDUCTION

4.1 Le supra-épineux et le deltoïde

Ainsi, pour commencer nous avons réalisé une modélisation des différentes structures mises en jeu pour le mouvement d'abduction entre 0 et 90°. Quand nous parlons d'abduction nous ne pouvons occulter le muscle deltoïde, décrit trop souvent comme abducteur principal. Toutefois il convient de noter que lors d'atteintes du nerf axillaire – qui innerve ce muscle – le mouvement d'abduction n'est plus possible. C'est là qu'intervient l'intérêt de la réalisation du modèle que nous proposons. En effet, ce mouvement répond à la loi du centrage dynamique rotatoire citée par Bonnel (14) qui veut qu'une poutre placée verticalement contre un mur ne peut être tractée jusqu'à 90° grâce à une corde placée à son extrémité inférieure, car intervient une force ascensionnelle plaçant l'extrémité supérieure de la poutre contre le cordage. Afin d'obtenir le mouvement d'abduction, il convient d'adjoindre une butée à cette

extrémité supérieure pour empêcher l'ascension. Cependant, pour permettre malgré tout le mouvement, la butée doit être élastique et non, rigide.



Figure 4 : photo de face en position relâchée



Figure 5 : photo de face en position de supérieure contre le deltoïde

Sur la photo de gauche (fig. 4) nous voyons verticalement le mur décrit plus haut et qui représente le bord axillaire de la scapula. Horizontalement, il faut imaginer la partie

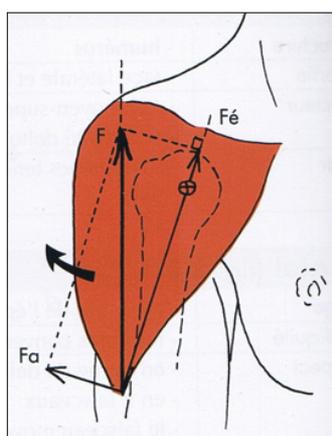


Figure 6 : décomposition de force du deltoïde dans le plan frontal, d'après Dufour

supérieure de la scapula, qui porte l'épine. A la partie gauche nous voyons la modélisation d'un humérus avec l'insertion du « V » deltoïdien à la jonction entre le tiers supérieur et le tiers moyen. La surépaisseur foncée correspond au lest nécessaire à la bonne tenue de la pièce dans le plan sagittal.

Sur la photo de droite (fig. 5), nous voyons avec clarté la butée offerte par le cordage – qui modélise le muscle deltoïde avec son tendon – à l'extrémité supérieure. Nous notons la présence au niveau de l'extrémité supérieure d'une portion arrondie, qui permet à la pièce de glisser avec beaucoup moins de frottements qu'avec une section rectangulaire ; ce qui modélise en fait la surface articulaire de la tête humérale sur la glène.

Sur la figure 6, une décomposition de force du muscle deltoïde montre la supériorité de la force ascensionnelle sur la force abductrice. En fait la photo de droite (fig. 5) modélise un

deltoïde ayant un tonus de base, et donc écartant légèrement le bras du corps mais faisant buter la tête contre la voûte.

Les photographies qui suivent mettent en évidence la présence obligatoire de la butée élastique constituée par le supra épineux, sans lequel l'abduction n'est pas possible. En effet, il a été décrit lors de perforations ou d'atteintes de la coiffe des rotateurs une impotence fonctionnelle dans ce mouvement malgré la présence d'un deltoïde efficace.



Figure 7 : vue d'ensemble



Figure 8 : gros plan sur la voûte acromiale



Figure 9 : gros plan avec mise en tension du deltoïde



Figure 10 : tendon du supra-épineux comprimé sous la voûte



Figure 11 : gros plan du tendon du supra-épineux

A gauche (fig. 7), une photo d'ensemble avec la modélisation – par un élastique bleu – du muscle supra épineux s'insérant dans la fosse supra épineuse de la scapula (structure horizontale) et niveau distal sur l'extrémité supérieure de l'humérus.

Au milieu en haut (fig. 8), une vue centrée sur la voûte acromiale à travers laquelle passe le tendon du muscle. A droite en haut (fig. 9), une photo de face avec la mise en tension du deltoïde matérialisé par le câble. Nous pouvons deviner l'impaction de l'élastique sous l'arche ; phénomène que nous observons mieux en bas à droite (fig. 11). Enfin, en bas et au milieu (fig. 10), une vue générale avec un deltoïde contracté et un supra épineux déficient : Nous mettons bien en évidence l'angulation entre la portion proximale et la portion distale du muscle principal de la coiffe des rotateurs.

Par cette expérimentation, nous montrons que la présence d'un muscle supra-épineux intègre est essentiel dans la cinésiologie non pathologique du mouvement d'abduction. Les photos qui suivent montrent à quel point la contraction de ce muscle sert de butée élastique à la tête humérale afin que celle-ci puisse tourner en même temps que l'humérus s'élève dans le plan frontal.

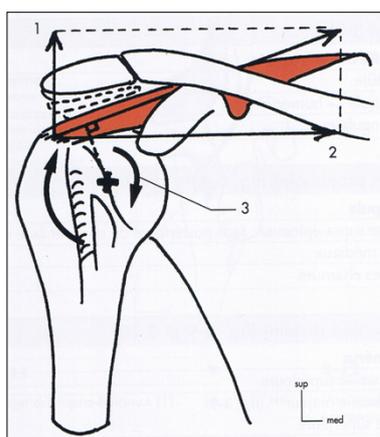


Figure 12 : décomposition de force du supra-épineux

Ici (fig. 12), une simple décomposition de force concernant le supra-épineux dans le plan frontal, qui met en évidence la force de traction du tubercule majeur vers le médial, ce qui, combiné à la butée constituée par la glène, donne une rotation de la tête humérale et une abduction. Nous voyons également la force verticale qui confère au muscle un rôle de suspenseur de la tête.

Sur la première photo (fig. 13), une vue d'ensemble quand le supra-épineux est contracté, sans contraction concomitante du deltoïde. Nous pouvons d'ores et déjà constater que l'humérus s'est élevé dans le plan frontal à un niveau plus important que dans l'expérience précédente.



Figure 13 : contraction du supra-épineux

Sur la deuxième photo (fig. 14), une contraction du deltoïde est mimée grâce au câble : nous voyons une abduction de l'humérus s'approchant des 90° ; valeur normale de l'abduction active sans mouvement scapulaire.



Figure 14 : contraction du supra-épineux et du deltoïde

Sur la troisième photo (fig. 15), un plan supéro-latéral montrant bien le rôle de butée élastique du supra-épineux au niveau de l'extrémité supérieure de l'humérus pendant la contraction deltoïdienne.



Figure 15 : gros plan sur la butée « supra-épineux »

Enfin sur la dernière photo (fig. 16) une vue générale plongeante sur la modélisation.

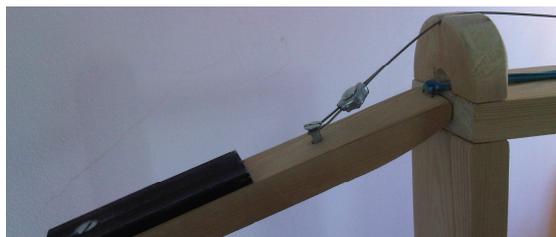


Figure 16 : plan général

4.2 L'abduction passive

Nous nous sommes également intéressés à la modélisation du mouvement d'abduction passive, et ce à plusieurs titres. D'abord pour expliquer le rôle de la rotation externe automatique lors de la position de l'humérus à 90° d'abduction, afin d'effacer la butée rigide constituée par l'acromion. En corollaire, nous avons trouvé un intérêt à montrer la structure responsable de cette rotation automatique, en l'occurrence le ligament gléno-huméral dans sa portion inférieure. En effet, vers 90° ce ligament se trouve tendu et obtient par la suite son relâchement en repoussant la tête humérale vers l'extérieur – en rotation latérale – afin de pouvoir jouer son rôle de frein à l'abaissement et au glissement antérieur. En fait il a une fonction de hamac. Enfin, nous avons profité de la modélisation pour expliquer le test de Jobe.



Figure 16 : vue antéro-supéro-médiale



Figure 17 : vue antéro-inféro-latérale

Sur les photos de la page précédente (fig. 16 et 17) nous pouvons voir la présence de l'acromion avec le muscle supra épineux modélisé grâce à l'élastique bleu. Par ailleurs, à droite (fig. 17) nous voyons bien le tubercule majeur – insertion distale et humérale du muscle – qui vient buter contre l'acromion. Il est important de noter que le muscle n'est que très faiblement en tension et que le deltoïde – toujours sous forme d'un câble – n'est pas du tout tendu. C'est donc une expérimentation en abduction passive, comme si un opérateur effectuait le mouvement.

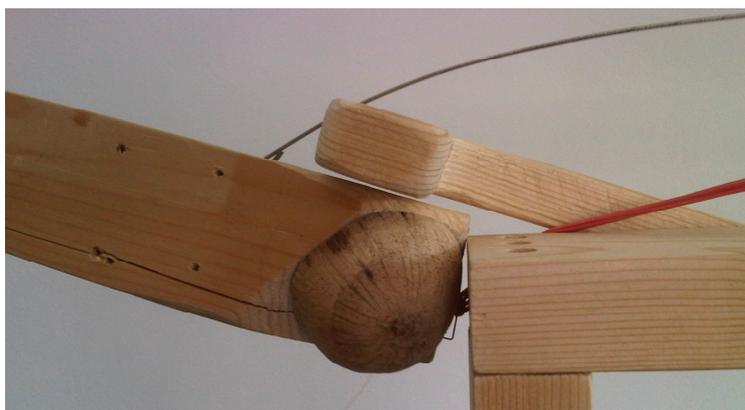


Figure 18 : vue de face, humérus en rotation latérale

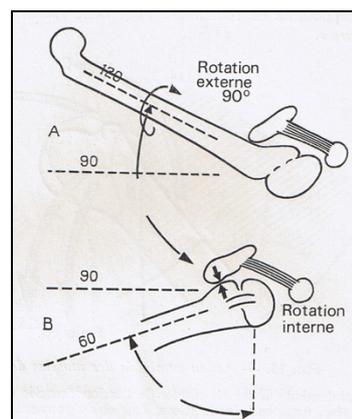


Figure 19 : schéma d'après Cailliet



Figure 20 : vue supéro-latérale

Une vue de face (fig. 18), supéro-latérale (fig. 20), et un schéma de Cailliet (fig. 19), nous permettent de voir la rotation externe de l'humérus qui a permis de faire passer le tubercule majeur à l'extérieur de la butée qu'est l'acromion, permettant une abduction beaucoup plus importante, de l'ordre de 120° pour Cailliet (15). Ci-dessus à droite (fig. 19), un schéma du même auteur pour préciser la cinésiologie

4.3 L'axe de rotation – les axes de rotation.

Si nous parlons d'abduction, il faut parler de l'axe du mouvement. En effet, contrairement à l'articulation coxo-fémorale dans laquelle les surfaces articulaires sont parfaitement congruentes et concordantes, l'articulation scapulo-humérale ne présente pas un axe de rotation unique à l'intersection des plans frontal et sagittal. Comme nous l'avons précisé dans les rappels, le mouvement d'abduction correspond à l'association entre roulement supérieur et glissement inférieur de la tête. Les muscles moteurs de ce mouvement sont le supra-épineux et le deltoïde. Le premier empêche l'ascension de la tête en tant que ménisque actif en contribuant au glissement inférieur ce qui a pour conséquence l'abaissement de la tête par rapport à la glène. En contrepartie, le centre de rotation tend à se déplacer vers le haut.

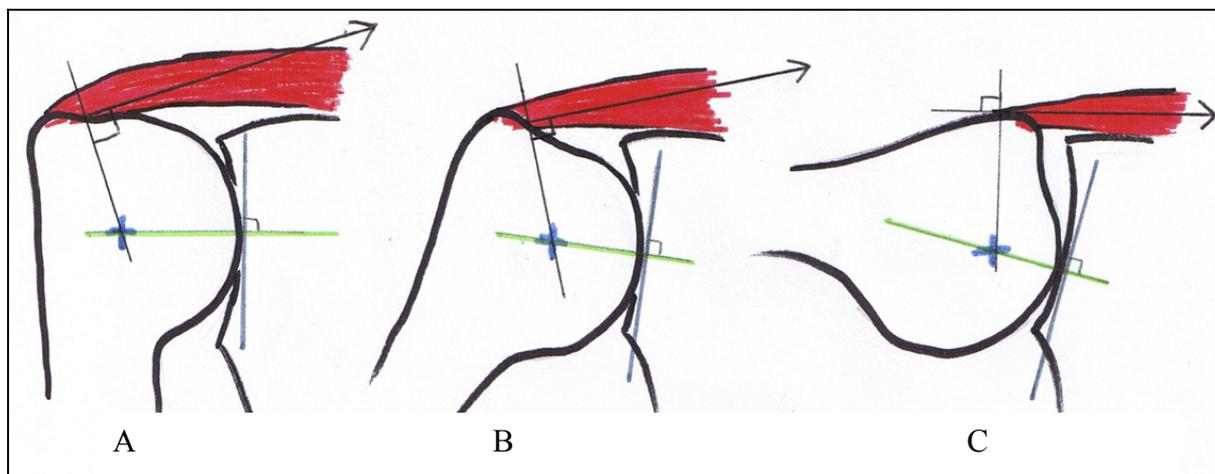


Figure 21 : modification du centre de rotation instantané sous l'action du supra-épineux

Sur le dessin (fig. 21), la droite grise correspond à la tangente au point de contact entre les surfaces articulaires de la tête humérale et de la glène. En vert, la perpendiculaire à cette tangente qui donne le premier plan dans lequel va s'inscrire l'axe de rotation du mouvement. Ensuite, la flèche noire modélise la force du supra-épineux, et la perpendiculaire au niveau de son insertion, le plan dans lequel s'exerce cette force. Ainsi, l'intersection des droites – noire et verte – donne l'axe de rotation du mouvement. Progressivement entre le schéma A et C, nous voyons clairement que le centre de rotation se déplace vers le haut, en considérant l'axe vertical de la diaphyse humérale.

En réalité, le centre de rotation ne bascule pas brutalement vers le haut. Il s'agit en fait d'un ensemble de centres instantanés de rotation qui se déplace progressivement : d'abord en dessous de la tête humérale jusqu'à 50° puis au-dessus de la tête jusque 90°. Il faut mettre ce

déplacement en rapport avec le déplacement de l'extrémité humérale : au début le mouvement s'effectue dans la moitié supérieure, puis il se déplace dans la moitié inférieure. Par ailleurs il faut noter la présence et la force du deltoïde qui croît de plus en plus dans sa composante élévatrice au fur et à mesure du mouvement, comme nous l'avons expérimenté auparavant. Ce qui tend à accentuer le mouvement d'abaissement de la tête par un effet couple en même temps qu'il comprime le tubercule majeur. Celui-ci se déplaçant vers le haut, le deltoïde va pousser la tête vers le bas. En fait, pour Bonnel (14), ce couple est constitué par le deltoïde latéralement et par les abaisseurs courts – subscapulaire et infra épineux – ainsi que les abaisseurs longs – grand dorsal et grand pectoral – médialement. Les contractions multiples et successives déterminent alors cette multitude de centres instantanés de rotation, que Fisher (16) a localisé précisément.

Sur ce dessin de la décomposition de la force du deltoïde moyen s'appliquant au niveau du tubercule majeur, (F et F'), R représente la résultante de F et F' , R étant elle-même décomposée en R_h composante horizontale de coaptation et R_v composante verticale d'abaissement (fig. 22).

En bleu, la bourse synoviale sous-deltoïdienne par laquelle transite la force appliquée sur le tubercule.

C'est sur ce principe que se passe Kapandji (17) pour décrire une coiffe profonde des rotateurs et une coiffe superficielle constituée par le deltoïde.

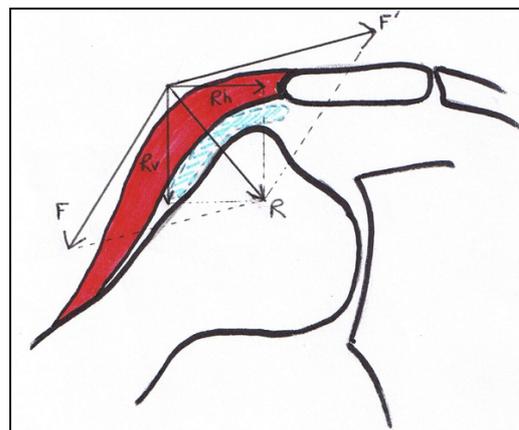


Figure 22 : action du deltoïde moyen

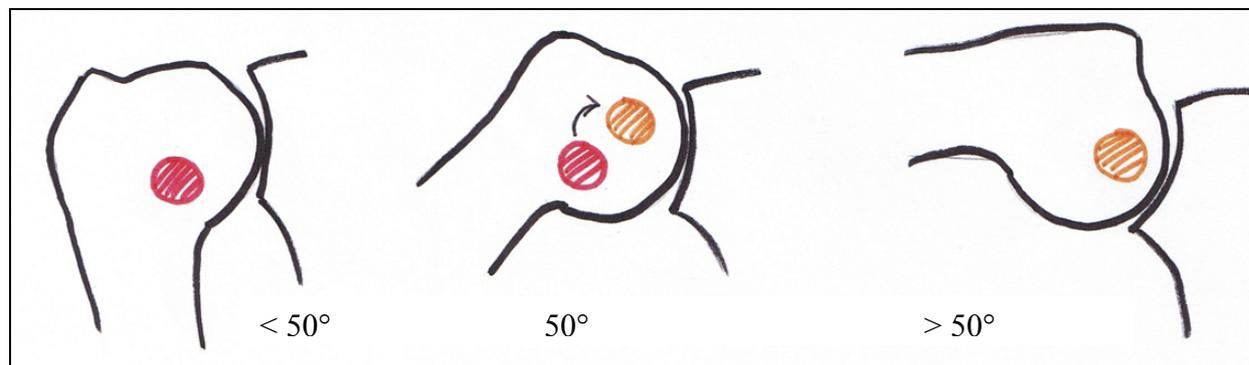


Figure 23 : l'ensemble des centres instantanés de rotation et leur déplacement au cours du mouvement, d'après Dufour et Pillu (18)

Ici (fig. 23) nous voyons le déplacement des multiples centres instantanés de rotation regroupés en rouge entre 0 et 50° puis se déplaçant vers le haut entre 50 et 90° pour Carret (18).

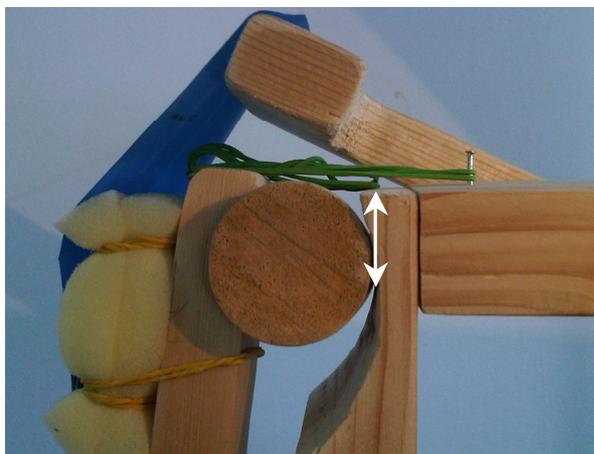


Figure 24 : position de départ à 10° d'abduction



Figure 25 : contraction du deltoïde et du supra-épineux



Figure 26 : mise en butée de l'humérus sur la glène

Sur ces trois photographies, nous décrivons en bleu le deltoïde moyen qui est le moteur de l'abduction dans le plan sagittal ; le supra-épineux en vert ; et la bourse synoviale sous-deltoïdienne. Pour les besoins de la modélisation la tête humérale (cylindrique) ainsi que la cavité glénoïdale sont prises en compte seulement dans la plan frontal, ce qui confère à la maquette une meilleure stabilité

qu'un modèle anatomique.

Sur l'image en haut (fig. 24) l'épaule est position à 10° degrés d'abduction. Le supra-épineux et le deltoïde sont au repos mis à part le tonus de base qui permet au supra-épineux d'assurer la suspension de la tête. La tête humérale est donc en position haute. Sur l'image du milieu (fig. 25) les deux muscles ont une tension supérieure permettant le mouvement, et le deltoïde comprime la bourse sous-jacente avec l'effet d'abaissement de la tête. La flèche blanche est plus grande que sur la première image. Sur la dernière image (fig. 26) l'abduction dépasse les 90° par une contraction musculaire supérieure. Nous voyons la décoaptation de la tête (flèche verte) confirmant le rôle essentiel des abaisseurs dans le centrage céphalique au cours de l'abduction.

4.4 Le ligament gléno-huméral inférieur

Comme nous l'avons dit précédemment, le ligament gléno-huméral inférieur (LGHI, fig. 27) s'insère sur la moitié inférieure du bord antérieur de la glène ainsi que sur le labrum ; pour se terminer à la partie antéro-inférieure du col chirurgical. C'est une large structure renforcée par des freins capsulaires importants.

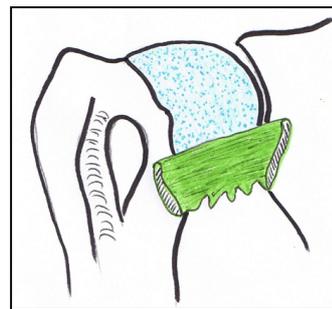


Figure 27 : faisceau inférieur du ligament gléno-huméral

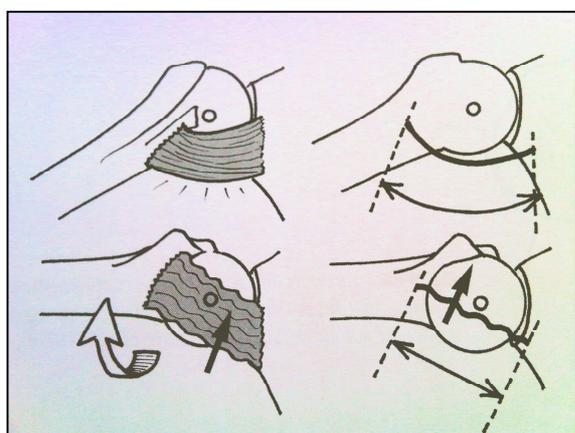


Figure 28 : le LGHI au cours de l'abduction (18)

En effet, lors du mouvement (fig. 28), il se tend progressivement et pour réduire cette tension, les insertions vont se rapprocher en faisant tourner l'os autour de lui-même vers l'extérieur.



Figure 29 : modélisation du LGHI en position de base

En fait il est un facteur limitant du mouvement d'abduction avec les muscles adducteurs. D'ailleurs c'est la seule structure ligamentaire qui freine l'abduction au-delà de 90°. Cependant, nous nous sommes intéressés à lui surtout pour son rôle dans la rotation automatique de l'humérus autour de son axe afin de permettre l'abduction au-delà des 90°.

En effet, lors du mouvement (fig. 28), il se tend progressivement et pour réduire cette tension, les

Sur cette photographie, nous pouvons identifier facilement le faisceau inférieur du ligament gléno-huméral (l'élastique bleu) qui laisse visible la partie supérieure de la tête humérale. Le muscle supra-épineux est représenté par l'élastique blanc, ce qui permet de stabiliser l'humérus et de modéliser le mouvement d'abduction.

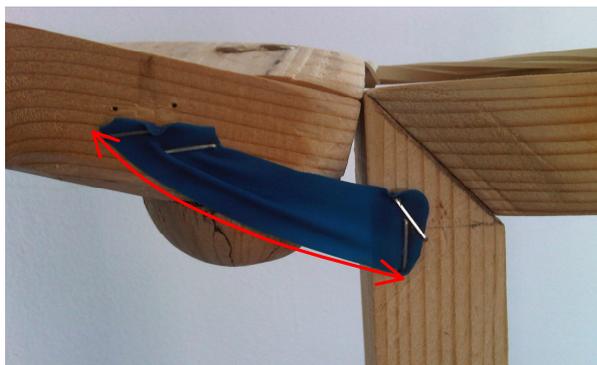


Figure 30 : tension du LGHI en abduction de 100° sans rotation externe

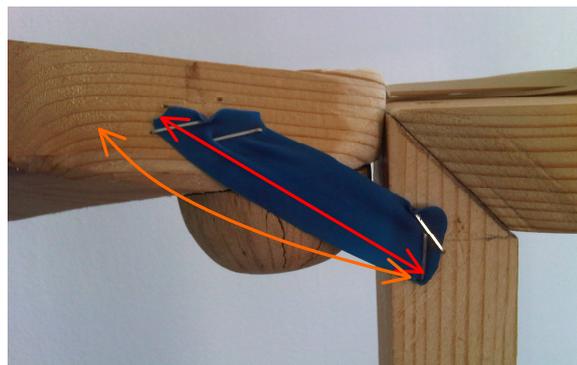


Figure 31 : rotation externe de l'humérus

Sur ces deux photographies (fig. 30 et 31) qui rendent compte de l'action du ligament gléno-huméral inférieur pendant le mouvement d'abduction, Les flèches rouges servent à distinguer la différence de longueur entre les deux situations, d'une part à gauche (fig. 30) sans rotation où la flèche est plus longue qu'à droite (fig. 31), avec rotation externe. La flèche orange sur la photo de droite est la réplique de la flèche rouge de gauche. Nous pouvons voir d'une part à gauche la tension très importante surtout au niveau des fibres inférieures ; alors que les tensions sont bien mieux équilibrées à droite. En effet, sur cette image, l'humérus a tourné autour de son axe vers l'extérieur comme en témoigne la visibilité de la tête humérale et la disparition du tubercule majeur vers l'arrière.

Finalement, le faisceau inférieur du ligament gléno-huméral remplit deux rôles : un premier qui consiste à faire tourner l'humérus en rotation externe lors du mouvement d'abduction ; et le second qui est une conséquence, un frein majeur à la luxation antérieure. En 1984 McGlynn (20) avait déjà été montré que les lésions de ce ligament étaient systématiquement retrouvées dans une série d'arthroscopies pour des luxations gléno-humérales antérieures ; des conclusions dont les résultats ont été confirmés en 1985 par une étude expérimentale cadavérique danoise (21).

5. LES TESTS

5.1 La modélisation du test de Jobe

Ce test de Jobe (22) s'adresse au muscle supra-épineux, souvent touché quand une atteinte de la coiffe des rotateurs dans son ensemble est décelée. Il s'agit de placer le bras du patient à 90° d'abduction, dans le plan de la scapula en ce qui concerne la flexion – 30° d'adduction horizontale en fait – et en rotation médiale maximale (les pouces sont dirigés vers le sol). L'examineur exerce alors une force vers le bras à l'extrémité inférieure de l'humérus (fig. 32). Si une douleur survient, il s'agit d'une tendinite du tendon du supra-épineux, mais si le patient ressent une faiblesse lors de l'application de la force alors l'on peut conclure dans 75% des cas à une atteinte musculaire. Nous précisons qu'au départ, cette manœuvre ne consiste pas à rechercher la faiblesse musculaire ou la présence d'une atteinte tendineuse ; mais plutôt en une évaluation de la force musculaire pendant une phase de rééducation.

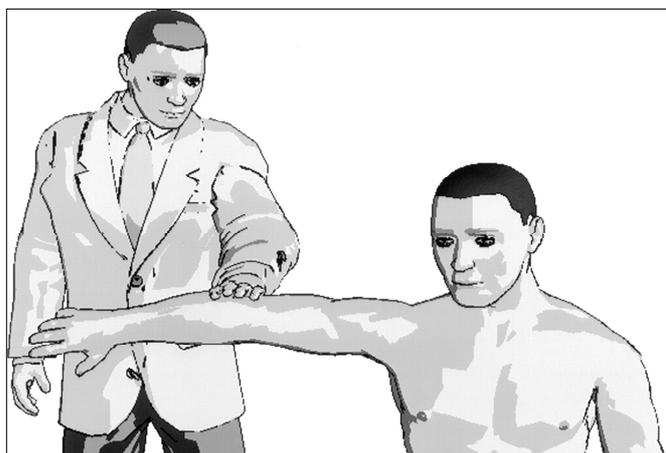


Figure 32 : illustration du test de Jobe

Si une douleur survient, il s'agit d'une tendinite du tendon du supra-épineux, mais si le patient ressent une faiblesse lors de l'application de la force alors l'on peut conclure dans 75% des cas à une atteinte musculaire. Nous précisons qu'au départ, cette manœuvre ne consiste pas à rechercher la faiblesse musculaire ou la présence d'une atteinte tendineuse ; mais plutôt en une évaluation de la force musculaire pendant une phase de rééducation.

Biomécaniquement il s'agit en fait de solliciter le supra-épineux en position d'étirement maximal de ses fibres, surtout en ce qui concerne la rotation médiale : le muscle est alors « enroulé » autour de l'articulation scapulo-humérale. En effet, nous pourrions imaginer d'exécuter ce test à 0° d'abduction, main au niveau de l'abdomen, afin de solliciter au maximum la composante d'abduction. Mais l'étirement des fibres est largement moindre en adduction maximale et rotation médiale intermédiaire (main au niveau de l'abdomen par exemple) qu'en abduction à 90° et rotation médiale maximale.

C'est d'ailleurs sur ce point qu'il émerge selon nous un intérêt pédagogique : pourquoi le test de Jobe se fait-il dans cette position précisément ? Nous proposerions aux étudiants d'étudier la tension des fibres musculaires antérieures, postérieures et médianes, afin de déterminer dans quelle position elle subissent l'étirement le plus important.

Comme nous l'avons précisé auparavant, ce test consiste à replacer l'humérus en rotation interne lors d'une abduction à 90°, pour mettre en évidence une pathologie du muscle supra épineux.

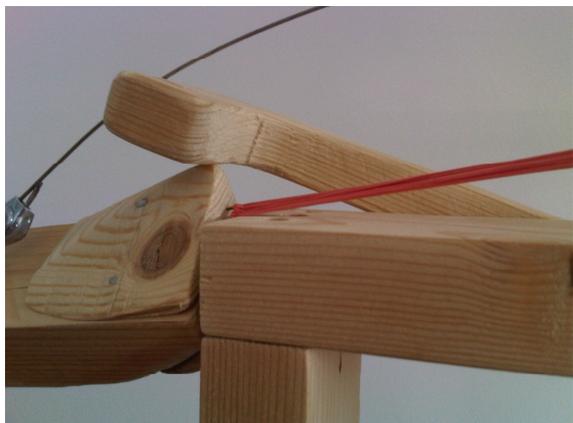


Figure 33 : vue antéro-médiale



Figure 34 : gros plan antéro-inféro-latéral

Les deux images (fig. 33 et 34) ci-dessus montrent la mise en rotation interne de l'humérus lors d'une abduction de celui-ci, faisant buter le tubercule majeur contre l'acromion. Il est important de noter que le supra épineux, pour les besoins de la maquette, n'est pas strictement placé au sommet du trochin, nous y reviendrons.

5.2 Le test de Neer

Ce test (23) fait partie des tests d'impaction si l'on prend une traduction littérale de l'anglais « impingement test ». Le but est de reproduire des symptômes ou des douleurs significatifs de dysfonctions précises. Dans la manœuvre, l'objectif est de faire « impacter » la tête humérale contre le bord antérieur de l'acromion. Le patient est assis, le praticien debout latéralement. Celui-ci empêche la rotation de la scapula par sa main postérieure, alors que sa main antérieure emmène le bras du patient vers le haut, en flexion et légère abduction. Il est important de noter que le praticien doit palper le bord antérieur de l'acromion pendant l'élévation du membre supérieur (fig. 35).



Figure 35 : illustration du test de Neer

Un test positif signifie que la douleur est provoquée lorsque la tête humérale vient toucher le bord antérieur ou latéral de l'acromion ainsi que le ligament acromio- coracoïdien en écrasant le tendon de la coiffe des rotateurs sous le bord externe et médial, ainsi que sur le bord supérieur de la glène. Dans ce cas nous pouvons suspecter la présence d'un conflit sous acromial. Par ailleurs, ce test doit s'effectuer avec la main en pronation, ainsi le test devient négatif lors de la même manœuvre main en supination.

D'un point de vue pédagogique, nous voudrions montrer aux étudiants l'intérêt de la position de la main en pronation, et les raisons d'une douleur apparaissant précisément entre 60° et 120° d'élévation. De même il nous paraît intéressant de modéliser l'élévation antérieure en supination afin de comprendre pourquoi le test pourrait devenir négatif avec la main en supination. En effet, au-delà de l'aspect mécanique plutôt simple consistant à dire que la supination concomitante à la rotation latérale permet de dégager la tête humérale de l'acromion, Neer (23) a montré dans une étude anatomique que le tendon du biceps était fortement impliqué dans les conflits sous-acromiaux, lors de la compression du tendon commun de la coiffe par la tête ; sous la voûte acromiale.

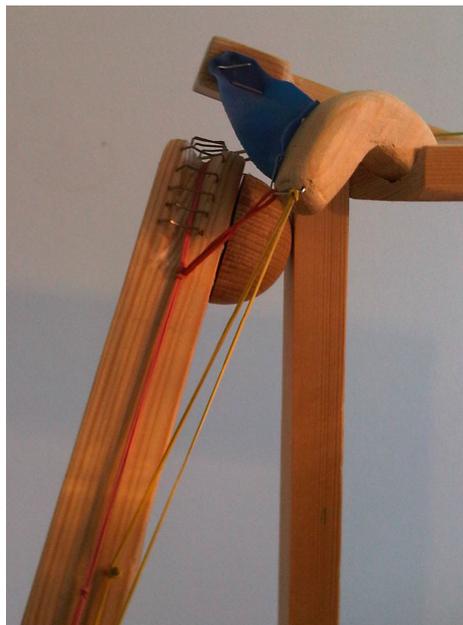


Figure 36 : vue de face



Figure 37 : vue latérale

Sur les quatre photographies de cette page (fig. 36 à 39), l'articulation scapulo-humérale est modélisée avec la voûte acromio-coracoïdienne complète : l'acromion, le processus coracoïde, et le ligament acromio-coracoïdien matérialisé par, la large élastique bleu. Les structures musculaires sont visibles grâce aux élastiques fins colorés : en rouge le muscle biceps brachial avec sa longue portion qui s'insère sur le tubercule supra-glénoïdien en poursuivant son chemin sous le tunnel ostéofibreux que constituent les agrafes (fig. 38). La courte portion s'insérant sur l'apex du processus coracoïde est également visible en rouge. Le deuxième élément musculaire à s'insérer sur la coracoïde est le muscle coraco-brachial. Il est en jaune sur le schéma (fig. 38). Il nous est apparu important de faire figurer ces deux muscles

fléchisseurs du bras, puisque le test consiste à emmener le bras en flexion. D'ailleurs le protocole nous a amené à placer le

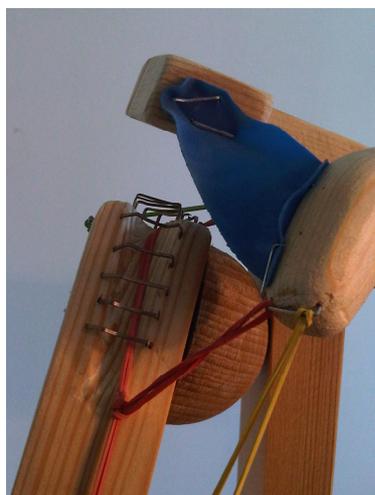


Figure 38 : gros plan antérieur

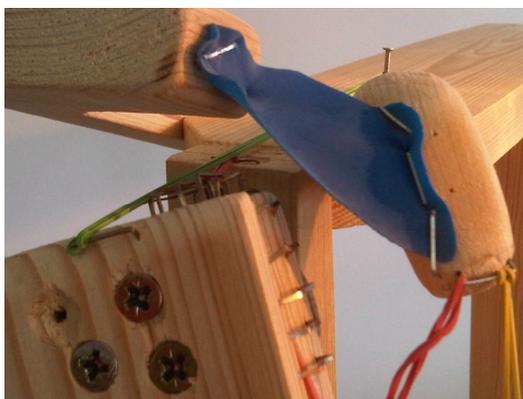


Figure 39 : gros plan supéro-latéral

supra-
épineux (en
vert) pour
son rôle
dans
l'abduction.



Figure 40 : test de Neer positif

À gauche (fig. 40), en situation pathologique la tête humérale vient buter contre le ligament acromio-coracoïdien et provoque la douleur via la bourse sous-coracoïdienne richement innervée. La photographie montre un exemple de situation pathologique décrite par Power (24), la tête pouvant impacter la face inférieure ou antéro-inférieure de l'acromion. A droite (fig. 41), nous avons voulu montrer l'intérêt de la prono-supination dans le test : en pronation, et donc en rotation médiale pour l'humérus, la douleur est provoquée (fig. 40). En revanche, en supination et en rotation latérale pour l'humérus, la tête est dégagée de sous la voûte acromiale et le tubercule majeur est amené vers l'extérieur comme nous l'avons vu précédemment.



Figure 41 : humérus en rotation externe

Sur les deux figures sont montrées les positions dans lesquelles s'effectuent le test de

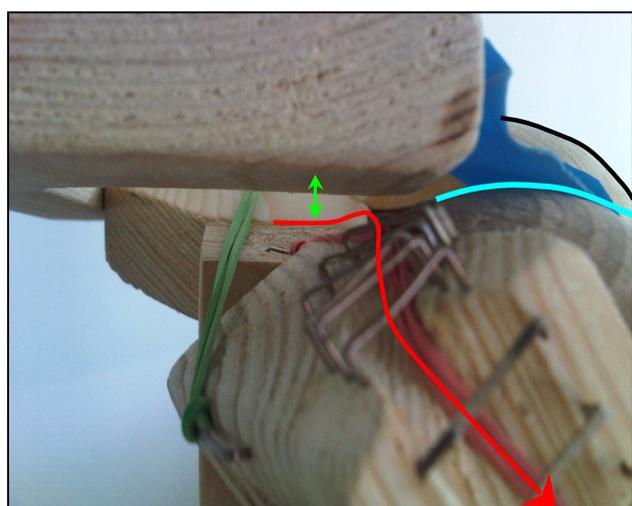


Figure 42 : gros plan supéro-latéral

Sur cette photo de l'espace sous-acromial (fig. 42), le trajet du tendon du long biceps est en rouge, la tête humérale en bleu, la coracoïde en noir. La flèche verte montre la compression du tendon sous l'acromion qu'a montré Valadie (25) ou le ligament acromio-coracoïdien par l'intermédiaire de la bourse sous-acromiale ou sous-coracoïdienne.

5.3 Le test de Hawkins



Hawkins (25) a conçu ce test afin de mettre en évidence un conflit sous acromial, localisé au niveau antéro-interne ou antéro-supérieur. Le patient est en flexion d'épaule à 90° ainsi qu'en flexion de coude 90°. Dans cette position l'examineur vient insister dans l'amplitude de rotation interne (fig. 43). Si une douleur apparaît le test est positif. En effet, si une épaule est saine ce test est inconfortable certes, mais reste indolore.

Figure 43 : le test de Hawkins

Mécaniquement il s'agit en fait de placer le tendon commun de la coiffe des rotateurs en contact avec le ligament acromio-coracoïdien. Ce qui explique la position en rotation interne maximale, forcée par l'opérateur. De plus, les auteurs ont montré que la compression pouvait également intervenir sur le tendon du long biceps, et qu'il y avait parfois un contact entre la partie articulaire du tendon de la coiffe (la face inférieure en fait) et la partie antéro-supérieure.

D'un point de vue pédagogique, nous voudrions amener les étudiants à retrouver l'existence de ce test. Nous leur demanderions de trouver une position articulaire de l'épaule et du coude, ainsi que la manœuvre à exercer par le thérapeute pour déceler un conflit sous – acromial localisé au niveau du ligament acromio-coracoïdien.

Sur la photographie du haut (fig. 44), une vue générale sur la maquette permettant d'expérimenter le test de Hawkins. L'avant-bras a été ajouté à la maquette ayant servi pour le test de Neer, en position de flexion à 90° (position modifiable par la présence du boulon à l'extrémité inférieure de l'humérus). L'acromion – **A** – et le processus coracoïde **C** – sont visibles au second plan, avec le ligament acromio-coracoïdien qui les lie, en bleu. Nous avons également laissé en place les structures musculaires que sont le supra-épineux, le biceps et ses deux chefs ainsi que le coraco-brachial.



Figure 44 : vue générale du test

Sur la photographie du bas (fig. 45), il s'agit d'un gros plan en position de test. Nous pouvons ainsi voir de près la conséquence d'une rotation interne forcée en position d'abduction dans le plan scapulaire : un conflit apparaît entre l'extrémité supérieure de l'humérus et le ligament acromio-coracoïdien, reproduisant les douleurs connues par le patient. Ce conflit est matérialisé par le point rouge. Il faut noter que le contact se fait ici directement alors que l'anatomie voudrait l'interposition de la bourse synoviale sous-coracoïdienne.

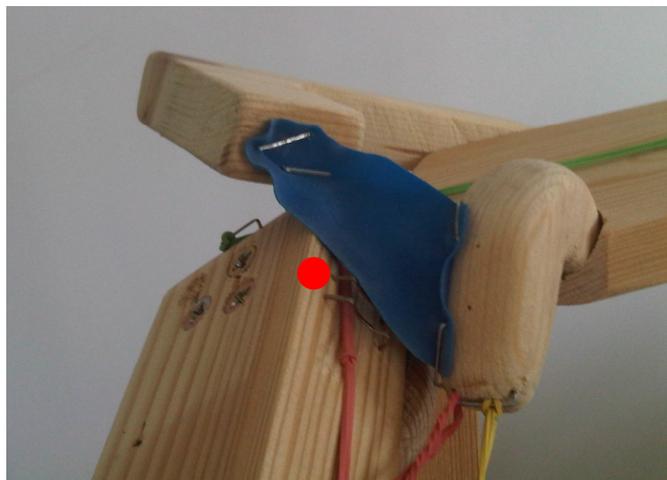


Figure 45 : gros plan sur le conflit antéro-interne

5.4 Les tests permettant d'évaluer l'atteinte du muscle subscapulaire.

Le muscle subscapulaire constitue, avec le supra-épineux, l'infra-épineux et le petit rond, la coiffe des rotateurs. Il nous est apparu important de développer une modélisation pour les tests permettant d'évaluer sa fonction en nous appuyant sur Duncan (27). Cette structure musculaire est placée en avant de l'articulation scapulo-humérale, ce qui lui confère un rôle dans la stabilisation antérieure de la tête humérale. En arrivant à proximité de la capsule articulaire, il renforce de faisceau moyen du ligament gléno-humérale. En effet, il s'insère dans la fosse scapulaire de manière étendue et se termine sur le tubercule mineur de l'humérus. Ainsi il a une action de rotation médiale, d'adduction et d'abaissement de la tête comme nous l'avons précisé plus haut. D'ailleurs c'est un muscle souvent concerné lors

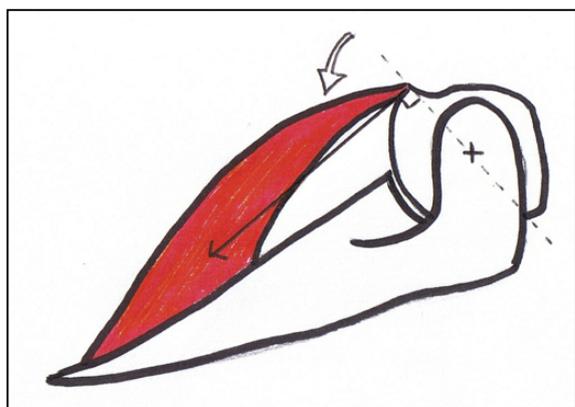


Figure 46 : vue supérieure du subscapulaire (d'après Dufour M.)

d'interventions chirurgicales lorsque celles-ci visent à réduire l'instabilité chronique d'épaule.

Sur le dessin ci-contre (Fig. 46), une vue supérieure représentant le subscapulaire et sa force qui agit sur la tête humérale en rotation médiale. Le latéral étant à gauche et l'espace antérieur en haut.



Figure 47 : subscapulaire de face



Figure 48 : subscapulaire en vue postérieure

Sur les deux photographies ci-dessus (fig. 47 et 48), le subscapulaire est représenté par l'élastique rouge. Le supra-épineux est en vert pour remplir sa fonction de suspenseur de l'humérus, et l'infra-épineux est en blanc (fig. 48), nécessaire dans l'équilibre du couple rotateurs médiaux / rotateurs latéraux.

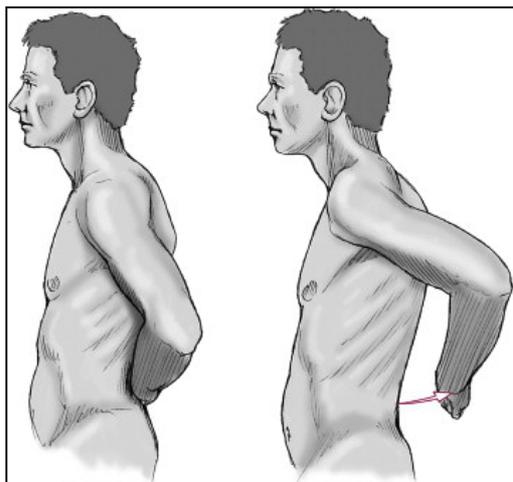


Figure 48 : le lift-off test en position de départ à gauche et si le test est négatif à droite (pas d'atteinte musculaire). D'après Scheibel M (29).

Les tests que nous avons choisi de modéliser s'adressent au subscapulaire en tant que rotateur médial puisque c'est par cette fonction qu'il s'inscrit dans le groupe de la coiffe des rotateurs. Le premier test à avoir été proposé est le test de Gerber (28) appelé « lift-off test » (Fig 48). Il s'agit pour le patient de mettre la main dans le dos au niveau de la charnière dorso - lombaire et de décoller la main. Si la manœuvre est impossible alors le muscle est porteur d'une atteinte. Toutefois ce test est réalisable seulement si le patient est capable de mettre la main dans le dos.



Figure 49 : le subscapulaire pendant le lift-off test

Sur la photo ci-contre (fig. 49) nous pouvons constater la position de l'humérus en rotation interne maximale comme en témoigne la tête humérale orientée vers l'arrière. Le muscle subscapulaire est ainsi détendu mais plus particulièrement il est sollicité dans ses fibres inférieures. En effet nous pouvons voir que la transparence est plus marquée dans la partie inférieure de l'élastique que dans la partie supérieure comme l'a démontré Barth (30)

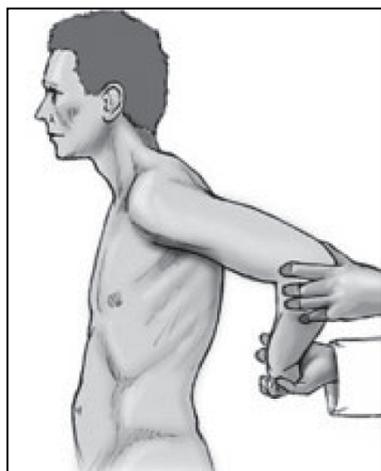


Figure 49 : internal lag sign, d'après Scheibel M.

Hertel (31) a apporté une modification en plaçant lui-même la main du patient à distance de la colonne vertébrale. En la lâchant il apprécie la capacité du patient à maintenir ou non la position. Il a dénommé son test « internal rotation lag sign », littéralement « signe du rappel en rotation médiale » (Fig. 49).

Gerber (28) a également mis en place une manœuvre pour les patients dans l'incapacité de mettre la main dans le dos : il s'agit de placer les mains sur l'abdomen (coude, poignet et main alignés), et d'exercer une pression simultanée. En cas d'atteinte du subscapulaire, le patient est obligé de ramener les coudes en arrière et de fléchir les poignets afin de maintenir la pression. C'est le belly – press test (fig. 50).

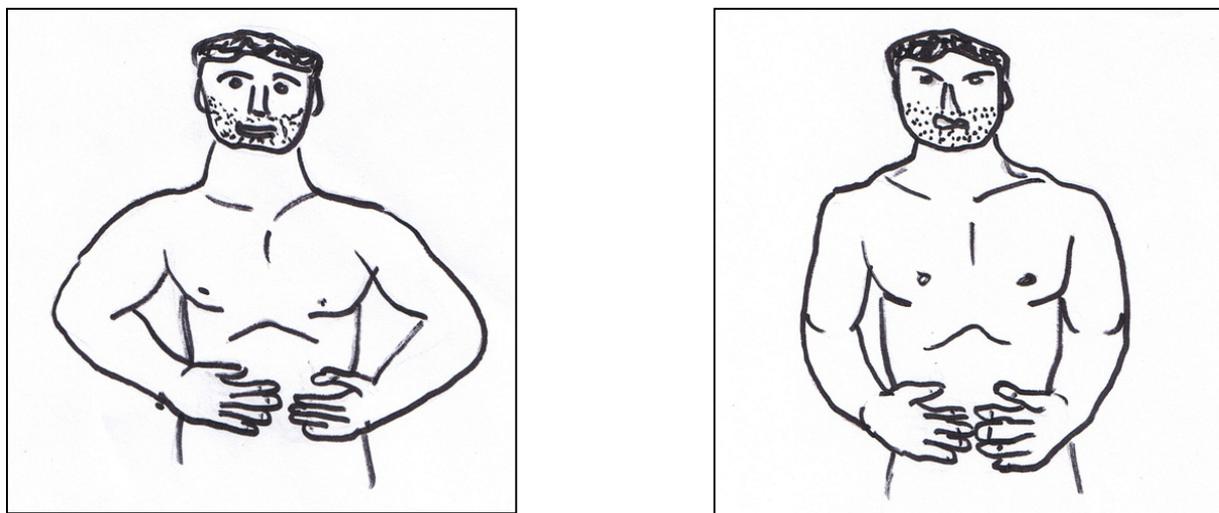


Figure 50 : à gauche le belly press test en position de départ et à droite si le test devient positif (le patient ne peut pas maintenir la position lors de la pression sur l'abdomen).

Le « bear-hug test » proposé par Barth (30) permet d'évaluer la rotation médiale de façon encore plus sensible : la patient place la main sur l'épaule controlatérale au côté testé, coude décollé du thorax. L'opérateur, essaye de tirer le poignet du patient vers lui, qui lui résiste. En cas d'échec, cela signe une atteinte du subscapulaire (Fig 51).

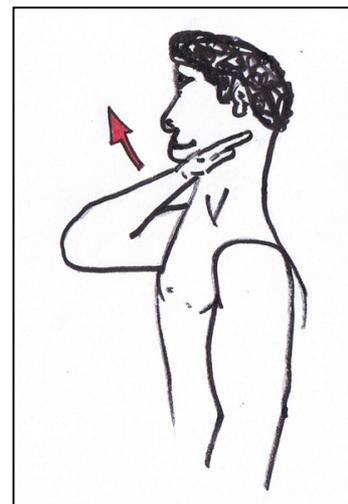


Figure 51 : le bear hug test. La flèche rouge représente la main de l'opérateur et la direction de la force.

L'intérêt pédagogique serait de faire découvrir aux étudiants les différents tests permettant de mettre en évidence la faiblesse de la rotation médiale : déterminer plusieurs positions, en fonction desquelles les portions du muscle subscapulaire sont évaluées prioritairement. A l'image du test de Jobe il s'agirait d'évaluer les niveaux de tension variant avec la position du test. Dans une étude en 2006, Barth montre que le lift-off s'adresse aux fibres inférieures du subscapulaire alors que le belly-press et le bear-hug s'adressent aux fibres les plus supérieures.

6. DISCUSSION

L'élaboration d'une maquette nécessite une phase de préparation très importante au regard du travail fini. Il faut d'abord choisir le bon matériau, bon marché et facile à mettre en œuvre. La première difficulté que nous avons rencontrée a été de choisir ce matériau. Au départ l'option de la terre glaise nous paraissait intéressante d'un point de vue de la stabilité et de la plasticité du matériau. Mais une fois seches les pièces ne sont plus modifiables. De plus, au vu du nombre de maquettes réalisées, il aurait fallu une importante quantité de matière, lourde à transporter et fragile une fois les modélisations cuites.

Le mouvement d'abduction se déroulant dans un seul plan, nous aurions pu nous contenter d'une maquette en deux dimensions. Toutefois, la rotation externe de l'humérus a impliqué la construction d'un modèle en trois dimensions, comme les modélisations concernant les différents tests. Ceci implique une difficulté supplémentaire tant dans la stabilité des pièces que dans la réalisation des différents structures.

Nous avons orienté notre travail vers la représentation du mouvement d'abduction et certains tests pratiqués lors de la recherche d'une lésion musculaire ou tendineuse. La première orientation nous est apparue comme évidente compte tenu de la complexité du mouvement, d'où l'intérêt pédagogique à bénéficier d'un modèle.

La seconde a été plus difficile à définir. Il existe une multitude de tests pour déceler une multitude de lésions. Nous avons occulté les protocoles liés aux instabilités d'épaule, qu'il s'agisse des tests d'appréhension ou des tests d'hyperlaxité ligamentaire.

Ainsi nous souhaiterions poursuivre notre travail afin d'élaborer une maquette permettant de reproduire à souhait les tests. Nous imaginons un ensemble s'articulant autour des trois pièces principales que sont l'humérus, la scapula et la clavicule, cette dernière intervenant largement dans le mouvement d'abduction par sa rotation externe entraînée par les ligaments conoïde et trapézoïde. Les pièces seraient percées sur toute leur surface de petites cavités, servant à insérer les différents éléments musculaires et ligamentaires afin de comprendre les synergies qui régissent le mouvement.

CONCLUSION

Nous avons conçu six maquettes différentes afin d'améliorer la compréhension du mouvement d'abduction d'épaule pour les étudiants en institut de formation en masso-kinésithérapie. C'est un mouvement facile à réaliser mais difficile à appréhender dans ses subtilités cinésiologiques. L'élévation d'épaule dans le plan scapulaire nécessite plusieurs structures anatomiques qui concourent à la fluidité du mouvement, qu'il s'agisse du supra-épineux dans son rôle de butée élastique ou des abaisseurs courts dans leur rôle de centrage permanent de la tête humérale au niveau de la glène au-delà de 90°.

Nous avons également choisi de montrer la réalisation de sept tests concernant cette articulation scapulo-humérale car de nombreux patients présentent des douleurs d'épaule qu'il s'agit de préciser et de confirmer. Ces tests révèlent des conflits ostéo-musculo-tendineux ainsi que des atteintes musculaires, avec des localisations précises et différentes. Les trois premiers que sont Jobe, Neer et Hawkins servent à déterminer un conflit entre la voûte coraco-acromiale et l'extrémité supérieure ; les quatre suivants nous permettent de savoir quelles fibres du muscle subscapulaire sont les plus atteintes.

Nous pensons que ces modélisations peuvent servir pendant des travaux pratiques au sein d'un institut de formation en masso-kinésithérapie. L'objectif serait de faire découvrir aux étudiants les fonctions des différentes structures et le but des tests mis en œuvre. Le belly-press test est également appelé le test de Napoléon, lequel avait coutume de dire qu'un bon croquis vaut mieux qu'un long discours. Nous pourrions l'actualiser : un bon modèle vaut mieux qu'un grand dessin.

BIBLIOGRAPHIE

1. Halder AM, Kuhl SG, Zobitz ME, Marson D, An KN ; effects of the glenoid labrum and glenohumeral abduction on stability of the shoulder joint through concavity – compression : an in vitro study. *J Bone Joint surgery Am*, 2001, 83 : 1062 – 1069
2. Dufour M ; Anatomie de l'appareil locomoteur, tome 2 : membre supérieur. 2^{ème} édition, Paris, Masson, 2007. 447 p. ISBN : 2-294-00370-5
3. Codman EA. *The Shoulder*. Boston : Thomas Co., 1934
4. Mramond de Laroquette F. Etude anatomique et mécanique de la ceinture scapulaire. *Revue D'orthopédie*. 1909, 10, n°4, 311 – 338 ; n°5, 399 – 462 ; n°6, 537 – 571.
5. Taisne B, Basquin C, Bailleul O, Revue de la littérature des différentes techniques de réduction de la luxation gléno-humérale antéro-interne employées de l'Antiquité à nos jours. *Journal de Traumatologie du Sport*. 2008, 1-25 et 41-49.
6. Weiser WM, Lee TQ, McMaster WC, Macmahon PJ. Effects of simulated scapular protraction on anterior glenohumeral stability. *Am J Sports Med*. 1999, 29 : 801-805
7. Levine WN, Flatow EL. The physiopathology of shoulder instability. *Am J Sports Med*. 2000, 28 : 910 – 917
8. Sirveaux F, Molé D et Walch G. Instabilités et luxations glénohumérales. *Encycl Méd Chir* (Editions Scientifiques et médicales Elsevier SAS, Paris, tous droits réservés à, Appareil locomoteur, 14-037-A-10, 2002, 20 p.
9. Turkel SJ, Panio MW, Marshall JL, Girgis FG. Stabilizing mechanisms preventing anterior dislocation of the glenohumeral joint. *J Bone Joint Surgery Am*. 1981, 63 : 1208 – 1217

10. O'Connell PW, Nuber GW, Mileski RA, Lautenschlager E. The contribution of the glenohumeral ligaments to anterior stability of the shoulder joint. *Am J Sport Med.* 1990, 18 : 579 – 584
11. Gagey O, Bonfait H, Gillo C, Mazas F. Etude de la mécanique de l'élévation de l'épaule. Rôle du ligament coraco-huméral. *Rev. Chir. Orthop.* 1985, 71 (suppl 2), 105 – 107
12. Harryman DT 2nd, Sidles JA, Harris SL, Matsen FA 3rd. The role of the rotator interval capsule in passive motion and stability of the shoulder. *J Bone Joint Surgery Am.*, 1992, 74 : 53 – 66
13. Halder AM, Kuhl SG, Zobitz ME, Larson D, An KN. Effects of the glenoid labrum and glenohumeral abduction on stability of the shoulder joint through concavity-compression : an in vitro study. *J Bone Joint Surg Am.* 2001, 83 : 1062 – 1069
14. Bonnel F. Epaule et couples musculaires de stabilisation rotatoire dans les trois plans de l'espace. *L'épaule.* 1993, Springer – Verlag : 35 – 51
15. Caillet R. *L'épaule.* Masson, Paris, 1976 : 15 – 31
16. Gonon GP, Carret JP, Dimnet J, Fisher LP. Etude cinématique des articulations de l'épaule. *Biomécanique générale, Cahiers d'enseignement de la SOFCOT*, 22, Expansion scientifique française, Paris, 1985.
17. Kapandji IA. *Physiologie articulaire. Fascicule 1 : Membre supérieur.* (4^{ème} édition). Paris : Maloine, 1980.
18. Dufour M, Pillu M. *Biomécanique fonctionnelle.* Paris, Masson, 2006. 568p. ISBN 2-294-08877-8
19. Carret JP, Fisher LP, Gonon GP, (avec la collaboration de Comtet JJ, Dimnet J, Brossard JP). Position de l'axe du mouvement d'abduction dans la scapulo – humérale. *Bull Ass Anat.* 1974, 58, 163 : 805 – 811.

20. McGlynn FJ, Caspari RB. Arthroscopic findings in the subluxated shoulder. Clin Orthop. 1984, 183 : 173 – 178
21. Ovesen J, Nielsen S. Stability of the shoulder joint. Cadaver study of stabilizing structures. Acta Orthop Scand. 1985, 56 : 149 – 151
22. Jobe FW, Moyens DR : Delineation of diagnostic criteria and a rehabilitation program for rotator cuff injuries. Am J sports Med. 1982, 10 : 336 – 339
23. Neer CS II : Impingement lesions. Clin Orthop 1983, 173 : 70 – 77
24. Power R. Shoulder examination : how to select and perform the appropriate tests. JAAPA. 2010 : 22 – 28
25. Valadie AL III, Jobe CM, Pink MM et al : Anatomy for provocative tests for impingement syndrome of the shoulder. J Shoulder Elbow Surgery. 2002, 9 : 36 – 46
26. Hawkins RJ, Kennedy JC. Impingement syndrome in athletes. Am J of Sports Med. 1980, 8 : 151 – 158
27. Duncan Tennent T, Beach R. William, Meyers John F. A review of the special tests associated with shoulder examination, part 1 : the rotator cuff tests. Am J Sports Med. 2003, 31 : 154 – 160
28. Gerber C, Krushell RJ. Isolated rupture of the tendon of the subscapularis muscle. Clinical features in 16 cases. J Bone Joint Surg, 1991, 73B : 389 – 394
29. Scheibel M. Subscapularis dysfunction following anterior surgical approaches to the shoulder. Journal of Shoulder and Elbow Surgery. 2008, 17, 4, 671 – 683
30. Barth JR, Burkhart SS and De Beer JF. The bear-hug test : a new and sensitive test for diagnosing a subscapularis tear. Arthroscopy. 2006, 22: 1076-1084

31. Hertel R, Ballmer FT, Lombert SM et al. Lag signs in the diagnosis of rotator cuff rupture. *J Shoulder Elbow Surg.* 1996, 5 : 307 – 313