



Etude musculaire isocinétique de l'épaule des volleyeurs : revue, méthodes et perspectives

Pr Pierre PORTERO

EAC CNRS 4396 Université Paris – Est Créteil
&
Hôpital Rothschild (APHP), Paris

Approche intégrative des lésions de surcharge de l'épaule

- Epidémiologique des lésions de surcharge de l'épaule
- Modélisation des mécanismes lésionnels ?
- Tests analytiques et fonctionnels de l'épaule
- Lésions, immobilisation, réparation de surcharge de l'épaule

Introduction

Étendue du problème

- Les syndromes douloureux de l'épaule représentent un tiers des lésions les plus communes pour l'ensemble des joueurs de volleyball (femmes + hommes) et la deuxième des plus fréquentes liées aux conditions de surcharge, soit 8–20% de toutes les lésions du volley-ball.
- De plus, Verhagen et al (2004) ont montré dans ces conditions de travail de l'épaule, en moyenne, une perte de temps d'entraînement ou de compétition de 6,2 semaines, (la plus longue absence moyenne de la participation sportive par rapport aux blessures avec perte de temps d'autres dans leur étude).
- Malgré le caractère généralisé du problème, à l'exception d'une neuropathie sus-scapulaire, l'épidémiologie de la douleur à l'épaule chez les volleyeurs et mal connue (Witvrouw et al, 2000)
- Rôle de la fatigue en détente verticale, le joueur ne peut aller plus haut pour frapper la balle

Le point

- L'histoire naturelle des pathologies de surcharges de l'épaule chez les "overhead athletes" a été significativement plus étudiée sur ces dix dernières années
- De nombreuses recherches sur la cinétique et la cinématique des lancers (au dessus de la tête) ont vu le jour. La plupart des études publiées sur les pathologies de l'épaule ont porté sur le baseball, avec quelques études comparatives avec le volley-ball et le tennis (smash) et certains lancers
- Néanmoins, il y a suffisamment de similitudes biomécaniques dans tous les lancers en position haute pour prendre en compte les résultats obtenus dans les autres sports. Le point commun de l'origine de la force générée lors d'un smash se situe au niveau du tronc (rôle de la scapula)

Le point

- La scapula, qui sert au transfert de l'énergie cinétique vers le membre supérieur, fournit une plateforme stable au membre supérieur de façon à favoriser le meilleur placement possible du membre supérieur dans l'espace pour le mouvement de smash
- L'articulation scapulo-humérale possède une grande mobilité mais une importante instabilité anatomique
- En conséquence, les stabilisateurs dynamiques de la scapula et de la tête humérale sont essentiels pour assurer l'intégrité fonctionnelle de l'articulation scapulo-humérale et permettre les gestes de service et de smash les plus efficaces en volley-ball
- Merolla et al, 2010 a, b : douleurs, force, balance scapulaire 3-6 mois de récupération)

Le point

- Un volleyeur élite réalise environ 40 000 smashes par saison (Kugler et al, 1996), mais ce chiffre est probablement sous-estimé.
- La charge résultante dépend probablement d'un nombre d'autres facteurs comme la mécanique de la frappe du bras et de la distribution des frappes au-dessus de la tête lors des entraînements et des compétitions.
- Bien que la cinétique du smash en volley-ball n'ait pas été bien décrite, il est clair que la ceinture scapulaire est exposée à des contraintes cumulatives considérables résultant de la répétition des smashes, des services et de la préparation physique...

Facteurs de risque

- Les facteurs de risques et de développement des douleurs d'épaules chez les volleyeurs sont strictement définis.
- Prise en compte de l'histoire préalable de la douleur et de l'intensité des contraintes auxquelles l'athlète est exposé.

Table 3 Proposed risk factors for shoulder pain among volleyball athletes

Risk factor	Modifiable
Intrinsic	
Anatomy	No
Biomechanics	Yes
Conditioning/core stability	Yes
Glenohumeral internal rotation deficit	Yes
Previous injury	No
Scapular dyskinesis (SICK scapula)	Yes
Sex	No
Extrinsic	
Competitive situation	Yes
Load	Yes

Objectifs

Sportifs

- Prévention et suivi des effets de la charge de travail et de l'intégrité anatomo-physiologique de l'épaule
- Aide à la décision pour la reprise du sport

Scientifiques

- Etudier les effets de la fatigue des muscles de l'épaule sur les service et les smashes

Connaissance sur la question

- L'évaluation de l'épaule douloureuse représente un challenge diagnostique pour les cliniciens
- Il existe de multiples tests d'évaluation physique de l'épaule
- La plupart de ces tests sont non-spécifiques et ne permettent pas d'affiner le diagnostique
- De plus les épaules sont soumises à des conditions de contraintes très différentes

Matériel et méthode

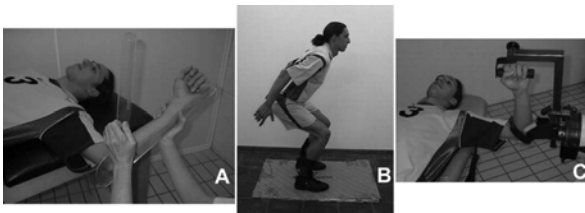
Les travaux les plus consistants sont issus de la thèse de Bénédicte Forthomme « Exploration isocinétique de l'épaule, 2005) qui ont fait l'objet de nombreuses publications dans le domaine.

Le protocole de tests isocinétiques est basé sur ces récents résultats. Le protocole de mesure couché a été validé et semble le plus consistant.

- Forthomme et al 2005. *Factors Correlated With Volleyball Spike Velocity.*
- Forthomme et al 2008. *Scapular positioning in athlete's shoulder.*
- Forthomme et al 2011. *Isokinetic assesement of the shoulder rotators: a study of optimal test position.*
- De nombreux autres travaux ont été publiés dans le même domaine ou des similaires (tennis, baseball, lancers...)

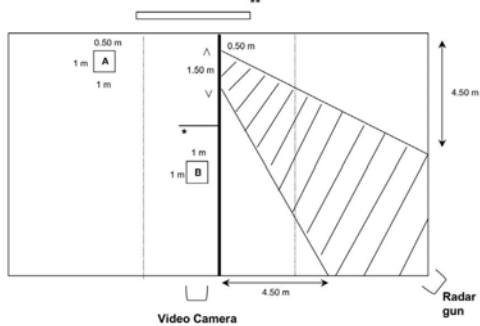
-Plus récemment des études sur les dysfonctionnements de la musculature de la scapula ont été publiées. Ces dysfonctionnements pourraient être impliqués dans les lésions des muscles de la coiffe des rotateurs.

Forthomme et al 2005. Factors Correlated With Volleyball Spike Velocity.



- (A) Representation of the passive shoulder rotation measurement
- (B) the counter-movement jump test
- (C) the isokinetic assesement of the shoulder rotator muscles

Forthomme et al 2005. Factors Correlated With Volleyball Spike Velocity.



Standardized court organization for the spike test. A, starting zone of the spiker 0.50 m from the left side and 4.50 m from the central line; B, starting zone of the setter 5.25 m from the left side and 0.50 m from the central line; *4.50-m high bracket 3.25 m from the left sideline; **backdrop with a scale, allowing assesement of the height at which the ball was hit.

Conclusions de l'étude de Forthomme et al 2005

La vitesse du smash est significativement corrélée à la force des rotateurs internes de l'épaule dominante et du coude dominant (flex/ext) en mode concentrique.

Des corrélations négatives ont été établies entre le ratio des rot. ext. en concentrique et des rotateurs internes à 400°.s⁻¹ et le ratio mixte (rot. ext à 60°.s⁻¹ en mode excentrique et les rot. int. à 240°.s⁻¹ en mode concentrique).

Des corrélations positives apparaissent entre la capacité de détente verticale et l'IMC.

Les joueurs de 1^{ère} division diffèrent de ceux de 2^{ème} division par la plus grande vitesse de balle au smash et la plus grande capacité de hauteur de saut vertical.

TABLE 5
Summary of Pearson Coefficients of Correlation Relating Ball Velocity to Relevant Assessment Factors^a

	r	P
IR PT CONC 60, N·m	0.63	.004
IR PT CONC 240, N·m	0.54	.017
IR PT CONC 400, N·m	0.47	.044
ER/IR CONC 400 ratio	-0.62	.000
ER ECC 60/IR CONC 240 ratio	-0.52	.022
FLEX PT CONC 60, N·m	0.59	.008
FLEX PT CONC 180, N·m	0.46	.045
EXT PT CONC 180, N·m	0.52	.023
Impact height, cm	0.51	.026
Jump time, ms	0.44	.056
Body mass index, kg/m ³	0.47	.040
Body mass, kg	0.44	.055
Muscular training per week, h	0.46	.046

^ar = coefficient of correlation; significance level P < .05. IR, internal rotators; ER, external rotators; FLEX, flexors; EXT, extensors; PT, peak torque in N·m; CONC, concentric mode; ECC, eccentric mode. Numbers after CONC and ECC represent values in degrees per second.

Différentes positions de tests pour l'évaluation des rotateurs internes et externes de l'articulation scapulo-humérale

- A: Sport gesture specific
- B: Comfort security
- C: The common position



- A = supine position with the arm at 90° of abduction
- B = supine position with the arm at 45° of abduction
- C = seated position with the arm in the scapula plane.

Forthomme et al, Clin Physiol Funct Imaging, 2011

Protocole actuellement proposé et pré-testé

Le protocole se décompose en 3 phases :

1) le protocole de tests isocinétiques est basé sur les récents résultats de B. Forthomme (équipe de J.L. Croisier, université de Liège). Le protocole de mesure couché est validé

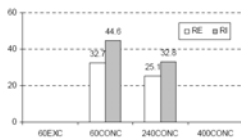
- Détermination des amplitudes articulaires des deux épaules
- Tests isocinétiques des rotateurs de l'épaule en isométrique, en concentrique à différentes vitesses angulaires (60°.s⁻¹, 240°.s⁻¹, 400°.s⁻¹) et en excentrique (60°.s⁻¹)
- Test de protraction – rétraction (muscles mobilisant la scapula)



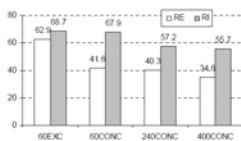
Tests isocinétiques des rotateurs de l'épaule en isométrique, en concentrique à différentes vitesses angulaires concentriques : (60°.s⁻¹, 240°.s⁻¹, 400°.s⁻¹) ; et en excentrique (60°.s⁻¹)

A noter :
 - la table n'est pas celle du dynamomètre isocinétique (Pb de taille des sujets et de stabilité)
 - sanglage du bassin

Joueur A : réalisation de la série excentrique non réalisée à cause d'une douleur à l'épaule droite en rotation interne résistée (travail excentrique des rotateurs externes d'épaule). Test à 400°/s consigne vitesse pas atteinte (plateau isocinétique < 50ms).



Joueur B : test bien réalisé



2. RATIO DE FORCE ROTATEURS EXTERNES / INTERNES

	CONC			EXC 60°/s	EXC / CONC
	RE / RI 60°/s	RE / RI 240°/s	RE / RI 400°/s	RE / RI	exc60RE/conc240RI
	0.61	0.70	0.62	0.92	1.10
0.73	0.77	VIT. PAS ATTEINTE	Non réal / Douleur en RI contrariée		
0.76	0.61	0.57	0.77	1.07	
0.64	0.65	0.65	1.00	0.97	
Belges N1- N2	0.71- 0.70	0.69- 0.70	0.64- 0.74	0.74- 0.80	1.02- 1.14

4 joueurs de l'équipe de France jeunes

Dispositif expérimental permettant l'évaluation en chaîne fermée isocinétique des muscle scapulaires (± EMG de surface).



Cools A M et al. Br J Sports Med 2004;38:64-68

Table 1 Peak force during isokinetic protraction and retraction movements at low (12.2 cm/s; five repetitions) and high (36.6 cm/s; 10 repetitions) velocity, and agonist/antagonist ratios

Velocity (cm/s)	Protraction		p Value	Retraction		p Value	Protraction/retraction ratio		
	Non-injured	Injured		Non-injured	Injured		Non-injured	Injured	p Value
12.2	369.2 (113.1)	346.8 (114.2)	0.14	349.0 (111.9)	361.7 (127.2)	0.53	1.08	0.97	0.01*
36.6	268.1 (91.4)	237.9 (85.6)	0.04*	296.9 (115.6)	272.0 (96.7)	0.16	0.96	0.88	0.31

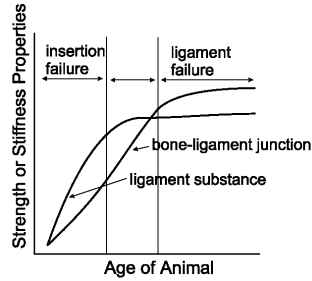
Values are mean (SD) (n = 19).
*Significant difference, p<0.05.

Ces résultats confirment que les sujets avec un syndrome sous-acromial présentent des performances musculaires anormales au niveau du complexe scapulo-thoracique

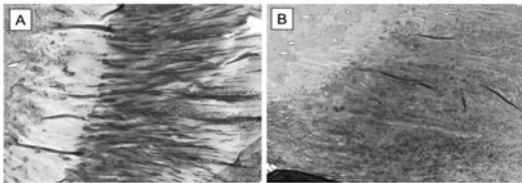
Cools A M et al. Br J Sports Med 2004;38:64-68

Lésions, immobilisation et récupération

Effet de l'âge sur les propriétés mécaniques du MCL (MCL-Tibia et MCL)



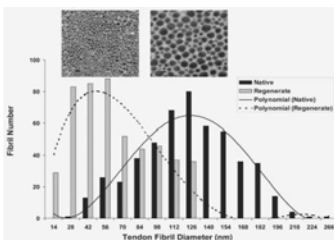
Lésions, immobilisation et récupération



Histology of the bone-tendon interface. Cryosections were stained with safranin O. The organization of cells along the border between tendon and bone is clearly visible. The cells in the tendon-bone interface are aligned along the direction of fibers in the native tendon (A), whereas the cells are less well organized at the tendon-bone interface of the regenerate tendon (B). The red staining is significant for matrix glycosaminoglycans.

Gill et al. 2004

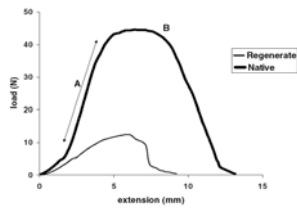
Lésions, immobilisation et récupération



Electron microscopy and distribution of collagen fibril diameters from native and regenerate rabbit hamstring tendons. Tendons were thin-sectioned (85 nm) and stained with lead citrate and uranyl acetate. The diameter of 500 fibrils was measured and counted at x76,000 magnification. The average diameter of the collagen fibrils in the regenerate tendon is significantly smaller than that of the native tendon.

Gill et al. 2004

Lésions, immobilisation et récupération



Gill et al. 2004

Maximum load to failure of a representative native and regenerate tendon. Tensile testing was conducted to failure at a constant strain rate of 15% per second, showing lower load to failure, less energy to failure, and decreased stiffness in the regenerate compared with the native tendon. The stiffness of the tendon is demonstrated by the slope of the linear portion of the graph (A), and the ultimate load to failure is designated in the region labeled B.

Lésions, immobilisation et récupération

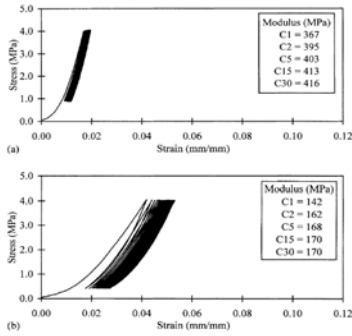
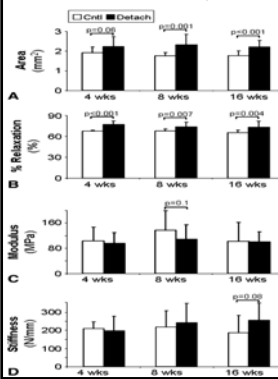


Fig. 1. Cyclic stress-strain plots for typical (a) normal MCL and (b) 6-week unilateral scar creep tested at 4.1 MPa.

Thornton et al, 2003

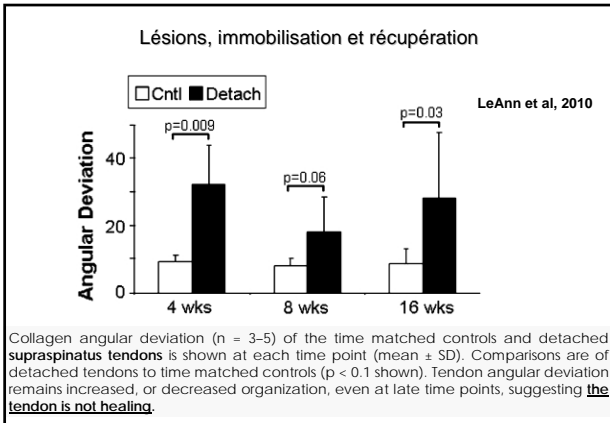
Lésions, immobilisation et récupération

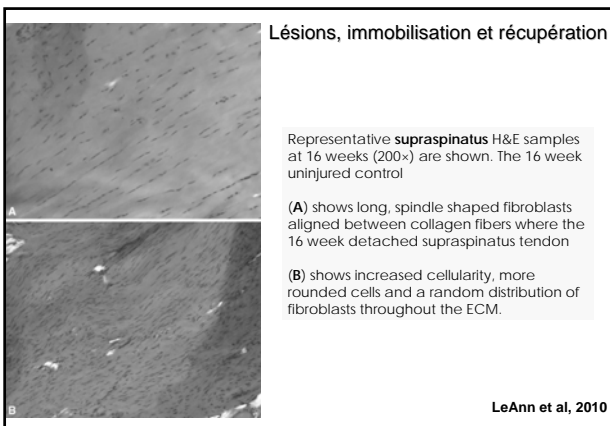


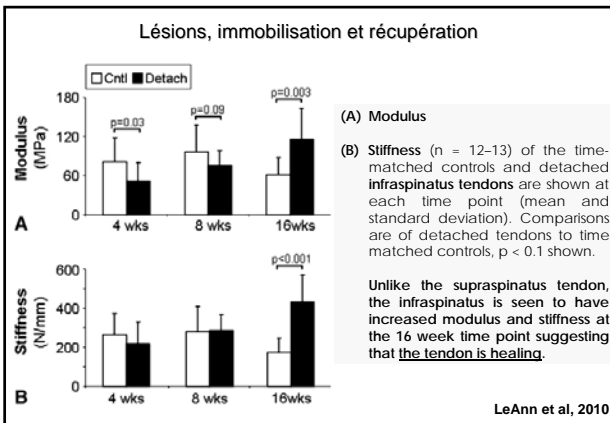
Geometric and biomechanical properties (n = 12–13) of the time-matched controls and detached **supraspinatus tendons** are shown at each time point (mean ± SD). Comparisons are of detached tendons to time matched controls (p < 0.1)

- (A) Area
 - (B) Percent relaxation remained increased from time matched controls, even at the 16-week time point.
 - (C) Modulus
 - (D) Stiffness
- No differences between C and D

LeAnn et al, 2010







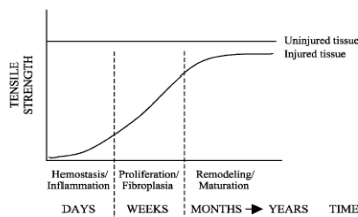
L'orientation cellulaire détermine l'alignement de la matrice collagénique produite par les cellules

L'orientation des cellules selon l'axe longitudinal des tendons et ligaments en phase de cicatrisation peut permettre la production d'une matrice collagénique alignée proche de celle de tissu sain. Ceci permet de développer les propriétés mécaniques des tendons et ligaments cicatrisés.

Wang et al. 2003

Remodelage des tendons

- 2 phases : healing & scar formation
- Location of injury, disease
- Suture techniques
- No complete recovery !!!!



Protocole proposé

Le protocole se décompose en 3 phases :

1) le protocole de tests isocinétiques est basé sur les récents résultats de B. Forthomme (équipe de JL Croisier, université de Liège). Le protocole de mesure couché est validé

- Détermination des amplitudes articulaires des deux épaules
- Tests isocinétiques des rotateurs de l'épaule en isométrique, en concentrique à différentes vitesses angulaires ($60^{\circ}.s^{-1}$, $240^{\circ}.s^{-1}$, $400^{\circ}.s^{-1}$) et en excentrique ($60^{\circ}.s^{-1}$)
- Test de protraction – rétraction (muscles mobilisant la scapula)

2) une épreuve de fatigue représentant environ le double de frappes réalisées par un attaquant de pointe lors d'un match en 5 sets.

Frappes du joueur sur une caisse placée en poste 4 (aile gauche)
-Il se lance les ballons lui-même

-Les frappes se font pas série de 4 ballons successivement en poste 1/5/4 respectivement ligne, grand diagonale, petite diagonale.

-Il va réaliser 5 séries de frappes soit 60 ballons, ce qui est environ le double de ce que frappe un attaquant de pointe au cours d'un match en 5 sets.

-Le radar présente un intérêt car il permettra de quantifier l'évolution de la vitesse de balle avec l'éventuelle apparition de la fatigue.

-Les mesures vidéo à haute fréquence permettront de quantifier les modifications gestuelles lors du smash ; l'accéléromètre donnera accès aux valeurs à l'impact de la main sur la balle.

3) reprise de la phase 1, afin de déterminer les paramètres qui ont été modifiés par l'épreuve de fatigue.

Finalité de l'étude

Cumuler des mesures permettant d'anticiper sur des lésions

- Avoir des données de suivi de la population filière et de la population haut niveau pour voir s'il y a des différences significatives

- Avoir des données de suivi individuel sur plusieurs années

- Faire en parallèle une étude épidémiologique de problèmes d'épaules et une comptabilisation précise du travail de prévention mis en place

- Faire une corrélation avec les vitesses de frappe et les évaluations terrain des entraîneurs

- Déboucher rapidement sur des protocoles de prévention (Merolla et al, 2010) mis en place et les faire évoluer au cours de l'étude

Merci de votre attention

Jean Sengès & Dr Marc Giaoui

La balle est dans votre camp...



pierre.portero@u-pec.fr
