

Mesure élastographique du disque intervertébral *in vivo*

C. Vergari^a, P.Rouch^a, G. Dubois^a, J. Dubouset^a, D. Bonneau^a, M. Tanter^b, J.L. Gennisson^b, W.Skalli^a

^a Arts et Métiers ParisTech, LBM, 151 bd de l'hôpital, 75013 Paris

^b Institut Langevin, Ondes et Images, ESPCI ParisTech, CNRS UMR7587, INSERM U979, Paris, France

Introduction

Le disque intervertébral (DIV) joue un rôle fondamental dans le comportement biomécanique du rachis. Il résiste aux charges compressives et absorbe les chocs, le tout en permettant les mouvements entre vertèbres, cela donnant au rachis sa flexibilité physiologique (Humzah et Soames, 1988). Les propriétés mécaniques du disque sont en effet à la base de cette flexibilité ; des altérations de ces propriétés peuvent être le signe d'une pathologie existante ou en être la cause.

A l'heure actuelle, le moyen le plus utilisé pour la caractérisation morphologique du DIV est la résonance magnétique. Cette technique d'imagerie donne des informations sur la teneur en eau et sa distribution au sein du disque, ainsi que sur la distribution de collagène. Plusieurs échelles ont été décrites dans la littérature pour le classement du disque dégénéré, telles que l'échelle de Gibson (Gibson et al., 1986) ou celle de Pfirrmann (Pfirrmann et al., 2001). Ces classements sont qualitatifs et ils ne donnent pas d'information sur les propriétés mécaniques du disque. Des travaux préliminaires ont été menés pour corrélérer les propriétés viscoélastiques du disque aux images par résonance magnétique (Campana et al., 2011), mais cette méthode d'imagerie reste assez difficile d'accès dans la routine clinique.

L'élastographie par ondes de cisaillement est une technique récente pour la caractérisation mécanique des tissus mous (Tanter et al., 2008). Cette technique donne des informations quantitatives sur la rigidité des tissus en mesurant la vitesse des ondes de cisaillement dans celui-ci de façon rapide et totalement non-invasive. Elle a été appliquée, avec succès, sur le sein pour différencier les tissus malins des tissus sains, ainsi que sur le foie et sur les muscles. Des travaux préliminaires *in vitro* sur échantillons animaux ont montré qu'il était possible d'obtenir des mesures élastographiques répétables dans le DIV (Vergari et al., 2013). Une corrélation entre cette mesure et la raideur du disque a également été mise en évidence.

Cette étude représente la première application *in vivo* sur le DIV chez l'homme. Les mesures ont été effectuées chez des adultes sains afin de vérifier la répétabilité de la mesure et de commencer à construire une base de données élastographiques de référence.

Matériels et méthodes

Vingt-neuf volontaires adultes sains (13 femmes et 16 mâles, Tableau 1) ont participé à cette étude. L'indice de masse corporelle (IMC) de chaque sujet a été calculé selon la formule $IMC = \text{masse} / \text{taille}^2$. Les images élastographiques ont été acquises avec un élastographe Aixplorer (SuperSonic Imagine, Aix en Provence, France), en utilisant une sonde ultrasonore linéaire à 8 MHz de fréquence centrale (SuperLinear SL 15-4).

Tableau 1. Caractéristiques des sujets (n = 29) et résultats

	Âge	Poids (kg)	Taille (cm)	Indice de masse corporelle (kg/m ²)	Vitesse des ondes de cisaillement (m/s)
Moyenne globale (± écart-type)	35,5 ± 11,5	71,9 ± 13,9	174,1 ± 8,3	23,7 ± 3,9	2,9 ± 0,4
Moyenne homme	33,4 ± 10,6	79,7 ± 12,8	179,8 ± 6,6	24,8 ± 4,4	3,0 ± 0,5
Moyenne femme	38,1 ± 12,4	62,3 ± 8,1	167,2 ± 3,6	22,3 ± 2,8	2,9 ± 0,4

Trois séries de six images élastographiques du DIV cervical C6-C7 ou C7-T1 ont été acquises médio-latéralement du coté droit, avec le sujet allongé sur le dos (Figure 1). Toutes les images ont été acquises par un même opérateur et le protocole complet durait environs 10 minutes. Le post-traitement des images consistait à calculer la vitesse des ondes de cisaillement moyenne dans chaque image dans la région de l'*annulus fibrosus* du DIV (Figure 1). La valeur moyenne globale pour un sujet donné a été obtenue en moyennant les valeurs des six images de chaque série, puis celles des trois séries.

La répétabilité des mesures a été évalué selon la norme ISO 5725-2 :1994. Les corrélations ont été quantifiées avec le test de Spearman et les différences ont été analysées avec le test de Student.

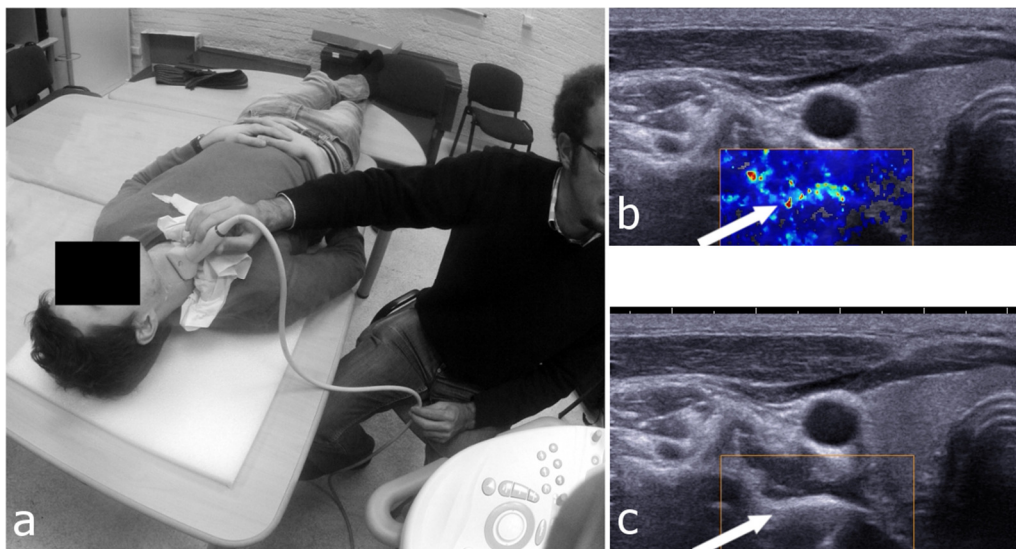


Figure 1. Mesure élastographique du disque intervertébral (a) ; image élastographique (b) et image B-mode standard (c). La flèche indique le disque intervertébral.

Résultats

La vitesse moyenne des ondes de cisaillement était de $2,9 \pm 0,4$ m/s ; les vitesses mesurées étaient similaires chez les femmes et chez les hommes (Tableau 1, $p > 0,05$). La précision de mesure a été évaluée à 0,23 m/s (intervalle de confiance : [0.17 – 0.32]), ce qui correspond à un coefficient de variation de 7,5%. La vitesse des ondes de cisaillement était significativement corrélée à l'âge des sujets (Figure 2, rho de Spearman = -0,75, $p < 0,01$), ainsi qu'à l'IMC (Figure 3, rho de Spearman = -0,49 $p < 0,01$). L'âge des sujets était également corrélé à leur IMC (rho de Spearman = 0,56 $p < 0,01$).

Discussion

Cette étude représente la première application *in vivo* de l'élastographie au disque intervertébral chez l'Homme. La répétabilité des mesures s'est révélée prometteuse (7 % coefficient de variation), et des corrélations ont été observées avec l'âge et l'IMC des sujets.

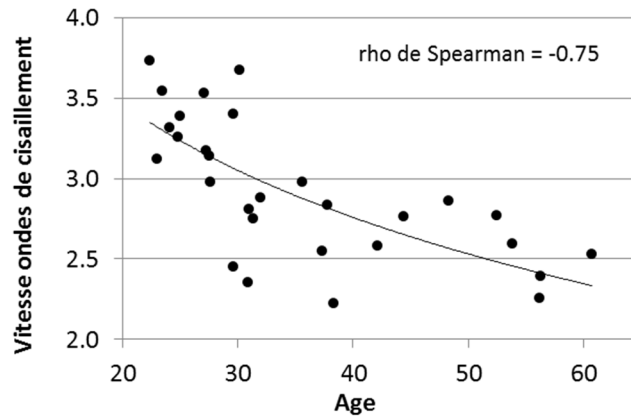


Figure 2. Relation entre la vitesse des ondes de cisaillement et l'âge des sujets.

La corrélation entre la vitesse des ondes de cisaillement et l'âge a été attendue. Des modifications des disques intervertébraux cervicaux liées à l'âge ont déjà été mises en évidence par résonance magnétique et ce à partir de l'enfance (Lehto et al., 1994; Miller et al., 1988). Le coefficient de corrélation négatif (rho de Spearman = -0,75) indique que la vitesse de cisaillement diminue avec l'âge, ce qui correspond à une diminution de la raideur du DIV. Le secteur de mobilité des unités fonctionnelles du rachis peut diminuer avec l'âge, alors que l'ensemble peut devenir plus souple (Mimura et al., 1994) à cause de la dégradation des matériaux en jeu (*annulus fibrosus*, *nucleus pulposus*, ligaments, etc.). Ce phénomène est probablement à la base de la diminution de la vitesse des ondes de cisaillement observée avec l'âge.

La corrélation entre l'élastographie et l'IMC des sujets mérite d'être investiguée. D'une part, elle pourrait être indirecte, comme suggérée par la relation significative de l'IMC avec l'âge. D'autre part, elle pourrait indiquer une tendance à l'assouplissement des disques avec la corpulence (Solovieva et al., 2002).

Les mesures dans le disque cervical sont rapides et plus facile à réaliser que dans les disques lombaires. La mesure locale de ces disques peut être intéressante dans le diagnostic et le suivi des pathologies rachidiennes cervicales. De plus, il a récemment été démontré que la dégénération des disques lombaires était souvent accompagnée de modifications des disques cervicaux. (Matsumoto et al., 2013). La détection d'une anomalie dans ces derniers pourrait donc être un indice clinique intéressant.

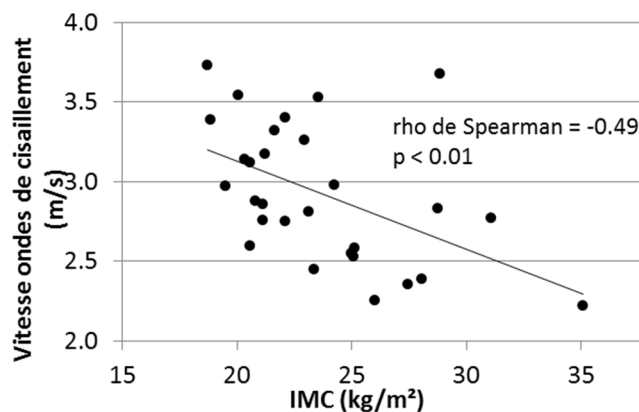


Figure 3. Relation entre la vitesse des ondes de cisaillement et l'indice de masse corporelle (IMC) des sujets.

Conclusion

Les résultats de cette étude sur sujets sains sont très prometteurs. Il est maintenant nécessaire d'estimer l'influence de l'opérateur sur les mesure, ainsi que d'élargir la cohorte de sujets à des patients atteints de pathologies rachidiennes, tel que la scoliose ou la dégénérescence discale. La valeur de répétabilité des mesures (0,24 m/s) est relativement faible par rapport à la variabilité observée entre les sujets (entre 2,2 et 3,7 m/s). Cela suggère qu'il pourra être possible de détecter de faibles modifications du disque lors du suivi de patient en traitement, ou de discriminer les disques physiologiquement et pathologiquement souples.

Références

- Campana, S., Charpail, E., De Guise, J. A., Rillardon, L., Skalli, W., Mitton, D., 2011. Relationships between viscoelastic properties of lumbar intervertebral disc and degeneration grade assessed by MRI. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 4, 593-599.
- Gibson, M. J., Buckley, J., Mawhinney, R., Mulholland, R. C., Worthington, B. S., 1986. Magnetic resonance imaging and discography in the diagnosis of disc degeneration. A comparative study of 50 discs. *J Bone Joint Surg Br* 68, 369-373.
- Humzah, M. D., Soames, R. W., 1988. Human intervertebral disc: Structure and function. *The Anatomical Record* 220, 337-356.
- Lehto, I. J., Tertti, M. O., Komu, M. E., Paajanen, H. E. K., Tuominen, J., Kormano, M. J., 1994. Age-related MRI changes at 0.1 T in cervical discs in asymptomatic subjects. *Neuroradiology* 36, 49-53.
- Matsumoto, M., Okada, E., Toyama, Y., Fujiwara, H., Momoshima, S., Takahata, T., 2013. Tandem age-related lumbar and cervical intervertebral disc changes in asymptomatic subjects. *Eur Spine J* 22, 708-713.
- Miller, J. A., Schmatz, C., Schultz, A. B., 1988. Lumbar disc degeneration: correlation with age, sex, and spine level in 600 autopsy specimens. *Spine (Phila Pa 1976)* 13, 173-178.
- Mimura, M., Panjabi, M. M., Oxland, T. R., Crisco, J. J., Yamamoto, I., Vasavada, A., 1994. Disc degeneration affects the multidirectional flexibility of the lumbar spine. *Spine (Phila Pa 1976)* 19, 1371-1380.
- Pfirrmann, C. W., Metzendorf, A., Zanetti, M., Hodler, J., Boos, N., 2001. Magnetic resonance classification of lumbar intervertebral disc degeneration. *Spine (Phila Pa 1976)* 26, 1873-1878.
- Solovieva, S., Lohiniva, J., Leino-Arjas, P., Raininko, R., Luoma, K., Ala-Kokko, L., Riihimaki, H., 2002. COL9A3 gene polymorphism and obesity in intervertebral disc degeneration of the lumbar spine: evidence of gene-environment interaction. *Spine (Phila Pa 1976)* 27, 2691-2696.
- Tanter, M., Bercoff, J., Athanasiou, A., Deffieux, T., Gennisson, J.-L., Montaldo, G., Muller, M., Tardivon, A., Fink, M., 2008. Quantitative Assessment of Breast Lesion Viscoelasticity: Initial Clinical Results Using Supersonic Shear Imaging. *Ultrasound in Medicine & Biology* 34, 1373-1386.
- Vergari, C., Rouch, P., Dubois, G., Tanter, M., Gennisson, J. L., Skalli, W. 2013. Intervertebral disc characterisation by elastography: a preliminary study. In: 38th Congress of the Société de Biomécanique, Marseille, France.