

INFLUENCE DU PLIAGE SUR LA RESISTANCE EN FATIGUE DES TIGES DE CROISSANCE

M. Croonenborghs^a, K. Ismail^a, J. Everaerts^b, AM. Korsunsky^b, C. Laville^a, L. Delannay^a, T. Pardoën^a

a. Institute of Mechanics, Materials and Civil Engineering, UCLouvain, Louvain-la-Neuve, Belgium

b. Department of Engineering Science, University of Oxford, United Kingdom

Résumé *L'objectif de cette recherche est de caractériser et de modéliser les mécanismes de rupture dans des tiges de croissance destinées à corriger des scolioses sévères à l'aide d'essais mécaniques et de simulations numériques. La diminution de la durée de vie de ces tiges, due en partie au pliage opéré par le chirurgien et aux contraintes internes qui en résultent, est investiguée par l'intermédiaire d'essais statiques, d'essais de fatigue et de simulations numériques sur des tiges avant et après pliage. Des tiges faites de titane commercialement pur, de l'alliage de titane TiAl6V4 et d'un alliage de cobalt-chrome, qui sont des matières typiquement utilisées pour ces implants, ont été sélectionnées. Plusieurs aspects ont été étudiés parmi lesquels (i) le développement des contraintes internes, (ii) l'endurance à la fatigue, (iii) les mécanismes d'endommagement, (iv) l'effet Bauschinger et (v) la capacité d'écrouissage, de manière à fournir une analyse quantitative du problème. Les résultats de cette étude reposant sur une approche scientifique donnent des pistes sur les procédures à adopter par le chirurgien.*

Mots clés : Contraintes résiduelles, implant biomédical, fatigue, simulations numériques

1. Introduction

Les scolioses apparaissant dès le jeune âge peuvent causer de nombreux problèmes lors de la croissance de l'enfant. Un des risques majeurs est une malformation des poumons, leur développement étant fortement lié à celui de la colonne vertébrale [Cunin 2015]. Lorsque les traitements non-chirurgicaux ne sont pas suffisamment efficaces et que l'enfant a encore un fort potentiel de croissance, la solution des tiges de croissance doit être investiguée [Yazici 2013, Oetgen 2012]. Dans 15% des cas, ces tiges, sollicitées en fatigue, vont casser après quelques mois. Pour retarder leur rupture, la plupart de ces tiges sont grenillées afin d'introduire des contraintes résiduelles en compression à la surface de la tige [Almen 1943, Takakuwa 2016]. Lors de la chirurgie, les tiges doivent être pliées pour correspondre à la courbure naturelle du dos du patient. Cette étape va modifier le champ de contraintes internes des tiges et peut diminuer leur résistance à la fatigue.

Même si l'effet du pliage sur la diminution de la durée de vie de ces tiges est déjà bien connu, l'évolution avec l'angle de pliage et le choix du matériau n'est pas encore caractérisé. Ce travail cherche donc à donner des pistes aux chirurgiens pour adapter leurs techniques. Cette étude comporte trois parties. Des tiges non utilisées ont tout d'abord été analysées pour déterminer leurs propriétés mécaniques. Par la suite, l'évolution des contraintes internes lors du pliage a été simulée par éléments finis. Pour finir, des essais supplémentaires ont été réalisés sur des tiges pliées par des chirurgiens pour

déterminer leurs champs de contraintes résiduelles ainsi que des essais pour observer l'abatement de la résistance à la fatigue.

2. Résultats

Après pliage des tiges, les expériences préliminaires montrent un profil oscillant du champ de contraintes internes, avec des contraintes résiduelles en compression près des bords. Ce profil final provient des contraintes résiduelles introduites par grenaillage ainsi que de la contribution des contraintes dues au pliage de la tige à l'aide de l'outil du chirurgien. Le pliage a pour effet de diminuer les contraintes en compression près du site d'initiation de la fissure, diminuant la résistance à la fatigue de la tige.

Les tiges pliées ont également été testées en fatigue sur une installation de flexion 3 points. La Figure 1 présente les résultats de tiges pliées avant essai (en bleu) et de tiges pliées puis redressées avant l'essai (en rouge). Les tiges pliées ayant cassé montrent que la résistance à la fatigue décroît avec l'angle de pliage. De plus, les tiges redressées montrent elles, une perte d'endurance plus grande.

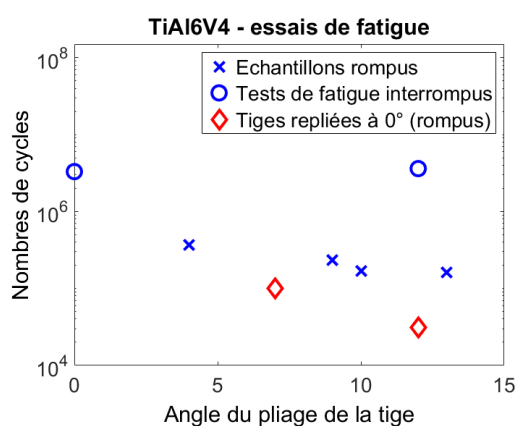


Figure 1. Essais de fatigue en flexion sur des tiges pliées à différentes amplitudes & sur des tiges redressées

3. Conclusion

Dans l'attente de résultats plus complets, nous pouvons déjà conclure que le pliage a pour effet de limiter les contraintes en compression sur le bord de la tige, accélérant la rupture par fatigue. Dès lors, il est préférable que le chirurgien limite l'angle de pliage de la tige lors de l'opération.

Références

- [Cunin 2015] Cunin, V. "Early-onset scoliosis—current treatment." *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 101.1 (2015): S109-S118.
- [Yazici 2013] Yazici, Muharrem, and Z. Deniz Olgun. "Growing rod concepts: state of the art." *European Spine Journal* 22.2 (2013): 118-130.
- [Oetgen 2012] Oetgen, Matthew E., and Laurel C. Blakemore. "Growing rods in early-onset scoliosis." *Seminars in Spine Surgery*. Vol. 24. No. 3. WB Saunders, 2012.
- [Almen 1943] Almen, J. O. Shot blasting to increase fatigue resistance. No. 430143. SAE Technical Paper, 1943.
- [Takakuwa 2016] Takakuwa, Osamu, et al. "Enhancing the durability of spinal implant fixture applications made of Ti-6Al-4V ELI by means of cavitation peening." *International Journal of Fatigue* 92 (2016): 360-367.