

Ingénierie des interfaces du vivant : Modèle de tenségrité pour l'étude de la mécano-transduction, la tension mécanique et la mobilité tissulaire

La mécano-transduction est un processus par lequel les cellules d'un organisme vivant convertissent les stimulus mécaniques de leur environnement en message électrique, biochimique, ou génétique. Contrairement aux matériaux inertes, lorsqu'on déforme les tissus vivants, se produit toute une cascade d'informations qui est le résultat de la conversion de la déformation mécanique en un message électrique, qui sera acheminé au cerveau.

On s'intéresse dans ce travail au rôle du tissu conjonctif humain dans la mobilité tissulaire et la mécano-transduction. Les tissus conjonctifs sont des tissus biologiques assurant la cohésion des autres tissus de l'organisme : ils sont un support structural et métabolique. Le collagène et l'élastine sont deux protéines qui composent l'architecture mécanique du tissu conjonctif. Le collagène est le principal composant structural et se trouve dans les vaisseaux sanguins, les os, le cartilage, le cerveau, la cornée, la peau, les ligaments et les tendons. L'élastine est une protéine flexible qui aide le tissu conjonctif à s'étirer et à se rétracter. On la trouve dans les ligaments, la peau et les artères.

Le fascia défini comme tissu conjonctif de soutien de nos tissus et organes est probablement à l'origine des forces de tension naturelles de tous nos tissus humains. A l'intérieur des fascias il y a aussi des cellules spéciales comme le fibroblaste qui génère la matrice extra cellulaire et fabrique l'acide hyaluronique, le lubrifiant naturel du tissu conjonctif. Ce tissu assure le soutien mécanique, la liaison entre tissus, la lubrification et la mobilité tissulaire, figure (1). L'objectif premier de ces travaux est la caractérisation théorique et expérimentale des liens entre tissu conjonctif, la mécano-transduction, l'état de tension interne et la mobilité tissulaire. Les approches développées utilisent souvent le couplage entre techniques d'imagerie (microtomographie, microscopie multi-photons, OCT (Optical Coherence Tomography *in vivo*) microscopie ultrasonore, et les techniques de caractérisation mécanique. On abordera dans cette présentation la problématique de la mécano-transduction à l'échelle du cytosquelette des cellules souches mésenchymateuses en contact avec un substrat texturé par laser femtoseconde, pour caractériser la perception tactile à l'échelle cellulaire. Dans ce cadre, on présentera une approche originale de modélisation de l'état de tension cellulaire lors de la mécano-transduction. Le modèle est basé sur le principe de la tenségrité utilisé dans le domaine de l'architecture. Cette approche originale permet d'étudier l'état de tension pour le contact statique ou dynamique de la cellule, et l'utiliser comme marqueur de la mécano-transduction. Ce même modèle a été étendu à l'échelle des fascias pour étudier la mécano-transduction *in-vivo* après stimulation par des ondes de cisaillement. Le cas de la mécano-transduction lors du contact et frottement avec le doigt humain, est étudié par l'analyse du signal vibratoire du frottement et la quantification de la stimulation des mécanorécepteurs cutanés.



Figure (1). Rôle du fascia dans la mobilité tissulaire

Hassan Zahouani est professeur à l'École Centrale de Lyon depuis 1991 (classes d'excellence 1 et 2). Il est maître de conférences à l'Université de Halmstad et président de la Société francophone d'ingénierie et d'imagerie cutanée. Il est responsable de l'équipe Bio-ingénierie, bio-tribologie et Perception au sein du laboratoire.

Ses travaux de recherche, menés au Laboratoire de Tribologie et de Dynamique des Systèmes, concernent les propriétés des surfaces et leur caractère multi-échelle. L'imagerie multi-échelle est un support important pour étudier la tension mécanique des tissus vivants in-vivo où bio-imprimés. Le défi scientifique est de comprendre le rôle interfacial des fascias, membranes fibrillaires soutenant tous les tissus vivants et jouant un rôle majeur dans la mécano-transduction, la lubrification par l'acide hyaluronique et la mobilité tissulaire. Ce tissu conjonctif est aujourd'hui considéré comme l'un des organes sensoriels les plus importants et complexes du corps humain.

Depuis quelques années, l'université de Stanford publie un classement international des scientifiques performants dans le monde. Hassan Zahouani a été classé par cet organisme en 2021, 2022, 2023, 2024 et 2025, parmi les 2% des chercheurs performants. En 2024, il a été cité comme Top Scholar des 0.5% des scientifiques les plus performants du monde par Scholar GPS. Ces reconnaissances donnent juste une photographie des performances des chercheurs dans une période donnée.

