1. **Résumé**

L'une des principales fonctions de la peau est de répondre aux stimuli mécaniques par le biais de la mécanotransduction, un mécanisme qui convertit les signaux mécaniques en réponses biochimiques. Ce mécanisme est considéré comme un principe biologique essentiel en mécanothérapie, qui sous-tend l'utilisation de charges à des fins thérapeutiques pour stimuler la réparation et la remodelage des tissus. Cette même idée est également appliquée au traitement de la peau.

Sous la peau se trouve un autre tissu conjonctif essentiel, la fascia, qui relie l'ensemble du corps, lui permettant de fonctionner de manière systématique en manipulant, résistant et distribuant les forces mécaniques exercées sur le corps. Par conséquent, le développement de thérapies mécaniques, telles que le massage du fascia, est également requis.

Cette étude a donc démontré un système de stimulation mécanique sans contact, la stimulation par ondes de cisaillement (SOC). Ce système génère des ondes de cisaillement et des ondes de compression à l'intérieur de la peau, stimulant ainsi les cellules et améliorant finalement les comportements mécaniques de la peau et du fascia. Des échantillons de peau reconstruite ont été utilisés pour ces expérimentations. En tant que modèle de peau humaine physiologiquement pertinent, il permet aux chercheurs d'étudier la biologie et la pathologie de la peau dans un environnement contrôlé. De manière similaire aux bioréacteurs traditionnels, la méthode de stimulation innovante a amélioré l'élasticité de la peau reconstruite et stimulé la fermeté de l'actine, du collagène et de l'élastine. Essentiellement, la SOC induit la mécanotransduction dans la peau reconstruite, ce qui permet d'augmenter le nombre et la longueur des fibroblastes et de modifier leur métabolisme pour augmenter la synthèse de collagène et d'élastine. Par ailleurs, il a été constaté que les échantillons de peau avec un court laps de temps d'incubation réagissent davantage aux stimuli mécaniques. D'autre part, le dispositif sans contact améliore efficacement les comportements mécaniques de la peau humaine, tout comme un appareil de massage commercial. Cependant, le principe de stimulation par SOC diffère de celui du masseur traditionnel car il stimule sans contact. La SOC peut étirer le derme, l'hypoderme et la fascia dans les directions X et Y de manière synchrone, ce qui favorise davantage la cicatrisation de la peau. De plus, aucune différence significative liée à l'âge n'a été observée quant à l'efficacité de la stimulation.

Comparée aux méthodes de stimulations existantes, la SOC est une technique sans contact, évitant ainsi tout dommage secondaire de l'échantillon et présente des applications polyvalentes. De plus, la SOC améliore les propriétés mécaniques de la peau reconstruite à différents stades de maturation (*in-vitro*), mais aussi celles de la peau humaine à différentes tranches d'âge (*in-vivo*). De plus, cette nouvelle technique de stimulation permet d'ajuster la fréquence de stimulation et est mobile pour s'adapter à une variété de sujets d'étude.

La SOC présente donc un potentiel énorme pour la recherche en laboratoire et les thérapies cliniques.

**Abstract**

One of the key functions of the skin is to respond to mechanical stimuli through mechanotransduction, which is a mechanism that converts mechanical signals to biochemical responses. This mechanism was considered a paramount biological principle in mechanotherapy which underpins how load may be used therapeutically to stimulate tissue repair and remodeling. The same idea in the treatment of the skin is considered.

Beneath the skin is another kind of paramount connective tissue, fascia, which connects the whole body, allowing it to function systematically, thereby manipulating, resisting, and distributing mechanical forces on the body. Therefore, the development of mechanical therapies, such as fascial massage, is requested as well.

This study, therefore, demonstrated a non-contact mechanical stimulation system, shear wave stimulation (SWS). This system generates shear waves and compression waves within the skin, thereby stimulating the cells and eventually improving the mechanical behaviors of the skin and fascia. On the one hand, tissue-engineered skin was employed. As a physiologically relevant human skin model, it allows researchers to study skin biology and pathology in a controlled environment. Similar to the traditional bioreactor, the innovative stimulation method improved the elasticity of tissue-engineered skin and stimulated the firmness of actin, collagen, and elastin. Essentially, SWS induced mechanotransduction in the reconstructed skin, which permits an increase in the number and length of fibroblasts and changes their metabolism to increase the synthesis of collagen and elastin. Meanwhile, it is found that skin samples with short days of incubation are more responsive to mechanical stimuli. On the other hand, the contact-free device effectively improved the mechanical behaviors of human skin, likewise the commercial massager. However, the stimulation principle of SWS differs from that of the massage device. Due to the advantage of non-contact, SWS can stretch the dermis, hypodermis, and fascia in X and Y directions synchronously, which is more facilitative to the healing of injured skin. Besides, no significant age-related effects on the efficacy of the stimulation were observed.

Compared to existing stimulation methods, SWS is a non-contact technique, circumventing any secondary damage to the sample, and has versatile applications. In addition, SWS has an enhancing effect on the mechanical properties of reconstructed skin at different maturity levels (*in vitro*) and in human skin at different age ranges (*in vivo*). Moreover, the new stimulation technique allows for adjustment in stimulus frequency and is mobile to adapt to a variety of study subjects.

Thus, SWS has tremendous potential for use in laboratory research and clinical therapies.

1. **Titre**

Effet de la mécanostimulation par ondes de cisaillement de la peau et du fascia: Etude sur peau reconstruite et *in vivo*

**Title**

Effect of mechanostimulation by shear waves on skin and fascia: Study on reconstructed skin and *in vivo*

1. **Les mots-clés:** peau humaine, mécanotransduction, fascia, peau issue de l’ingénierie tissulaire, comportements mécaniques, stimulation par ondes de cisaillement, mécanothérapie, bioréacteur, massage, fibroblastes, collagène, élastine, actine

**Keywords:** human skin, mechanotransduction, fascia, tissue-engineered skin, mechanical behaviors, shear wave stimulation, mechanotherapy, bioreactor, massage, fibroblasts, collagen, elastin, actin