

# CHARAKTERYSTYKA ANIZOTROPOWYCH WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH SKÓRY ŚWINI

SYLWIA ŁAGAN\*, ANETA LIBER-KNEĆ

POLITECHNIKA KRAKOWSKA, INSTYTUT MECHANIKI STOSOWANEJ, ZAKŁAD MECHANIKI DOŚWIADCZALNEJ I BIOMECHANIKI, UL. WARSZAWSKA 24, 31-155 KRAKÓW

\*E-MAIL: SLAGAN@MECH.PK.EDU.PL

**Słowa kluczowe:** tkanka skórna, próbki zwierzęce, test rozciągania, linie Langer'a  
[Inżynieria Biomateriałów, 128-129, (2014), 61-63]

## Wprowadzenie

Ludzka skóra stanowi kompleksową tkankę składającą się z kilku heterogenicznych warstw, epidermy, dermy i hipodermi, z których każda posiada unikalną strukturę i funkcję [1]. Skóra poddana działaniu naprężenia zachowuje się jak niehomogeniczny, anizotropowy, nieliniowy lepko-sprężysty materiał [2]. Właściwości mechaniczne skóry silnie zależą od topografii, czynników ryzyka, wieku, gatunku, środowiskowych czynników fizyko-chemicznych, tj. temperatura, ciśnienie osmotyczne, pH i szybkości odkształcenia [3,4].

Anizotropia skóry została rozpoznana w 19-stym wieku przez Karla Langer'a, który oznaczył naturalne linie napięcia, które pojawiają się w obrębie skóry [5]. Linie te pojawiają się, kiedy skóra zostanie punktowo naciśnięta przez okrągłe urządzenie. W tym przypadku włókna kolagenowe stają się równoległe do kierunku najmniejszego napięcia skóry, w końcu prowadząc do powstania eliptycznych szczelin. Kierunek tych szczelin odpowiada liniom Langer'a. Włókna elastynowe i kolagenowe wzdłuż linii Langer'a są bardziej rozciągliwe niż prostopadłe do tych linii. Dlatego, rozciągliwość skóry jest niższa (i stąd wyższa sztywność) w kierunku tych linii [2,6].

Celem badań była ocena podstawowych właściwości mechanicznych skóry świni domowej, w zależności od kierunku pobrania próbek. Analiza literatury pokazuje, że w większości badań in vitro skóry wykorzystuje się substytutu w postaci skóry świni, która charakteryzuje się podobnymi właściwościami mechanicznymi do skóry ludzkiej lub substytutu syntetyczne, tj. silikon lub poliuretan [2,4,7].

## Materiały i metody

Próbki do badań skóry zostały pobrane z grzbietu świni domowej (wiek 6 miesięcy) w trzech kierunkach (po 5 sztuk): wzdłużnym, poprzecznym i skośnym w stosunku do obwodu ciała. Wszystkie próbki miały wymiary: 100 mm długości i 10 mm szerokości, natomiast różniły się grubością, średnia jej wartość wyniosła  $1,89 \pm 0,10$  mm. Przed testami próbki były przechowywane (nie dłużej niż 12 godzin) w 0,9% roztworze soli fizjologicznej w temperaturze 4°C. Dla próbek skóry oznaczono właściwości mechaniczne przy statycznym rozciąganiu z prędkością 5 mm/min na maszynie wytrzymałościowej MTS Insight 50. Baza pomiarowa próbek wyniosła 40 mm.

# A CHARACTERISTIC OF ANISOTROPIC MECHANICAL PROPERTIES OF A PIG'S SKIN

SYLWIA ŁAGAN\*, ANETA LIBER-KNEĆ

KRAKOW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, DIVISION OF APPLIED MECHANICS, DIVISION OF EXPERIMENTAL MECHANICS AND BIOMECHANICS, 24 WARSZAWSKA STREET 24, 31-155 KRAKOW

\*E-MAIL: SLAGAN@MECH.PK.EDU.PL

**Keywords:** skin, animal specimens, mechanical properties, anisotropy, Langer's lines  
[Engineering of Biomaterials, 128-129, (2014), 61-63]

## Introduction

The human skin is a complex tissue which consists of several heterogeneous layers: the epidermis, the dermis, and the hypodermis. Each layer has a unique structure and function [1]. The skin subjected to stress behaves like a non-homogeneous, anisotropic, and non-linear viscoelastic material [2]. The mechanical properties of the skin strongly depend on the topography, risk factors, age, species, physical and chemical environmental factors such as temperature, osmotic pressure, pH, and on the strain rate [3,4].

The anisotropy of the human skin was identified in the 19th century by Karl Langer who mapped the natural lines of tension which occur within the skin [5]. These lines appear when the skin is punctured by a round instrument. In this case, the collagen fibers of the mesh become aligned parallel to the direction of the least extensibility, eventually leading to elliptical clefts. The direction of these clefts corresponds to Langer's lines. The elastin and collagen fibers along Langer's lines are more stretched than those perpendicular to these lines. Therefore, the extensibility of skin is lower (thus its higher stiffness) in the direction of these lines [2,6].

The aim of the research was an evaluation of the basic mechanical properties of a pig's skin depending on the direction of sample taking. A professional literature analysis shows that substitutes like a pig's skin (which has similar mechanical properties to the human skin) or synthetic substitutes, e.g. silicon or polyurethane are used in the majority of in vitro skin tests [2,4,7].

## Materials and methods

The samples for skin examinations were taken from the back of a 6-month old domesticated pig in three directions: parallel, perpendicular, and oblique (45°) in the reference to the short axis of the body (minimum 5 samples). All samples had the same dimensions: the length 100 mm and the width 10 mm, but different thicknesses. The average thickness was equal to  $1.89 \pm 0.10$  mm. Until time of examination (no longer than 12 hours) samples were stored at 4°C in 0,9% normal saline. The mechanical properties under static tension were determined with the use of the MTS Insight 50 testing machine extended samples at the speed of 5 mm/minute. The measurement base of the sample was 40 mm.

Na podstawie zarejestrowanych krzywych siła–wydłużenie oznaczono podstawowe właściwości mechaniczne skóry, tj.: wytrzymałość na rozciąganie ( $\sigma_{max}$ ), moduł Younga (E) oraz odkształcenie dla siły maksymalnej ( $\epsilon$ ). Wartość modułu Young'a została obliczona dla dwóch zakresów krzywej rozciągania: początkowego o niskim nachyleniu ( $E_1$ ), w którym obciążenia są przenoszone przez włókna elastyczne [9] oraz środkowego prostoliniowego ( $E_2$ ), dla którego za przenoszenie obciążeń odpowiadają włókna kolagenowe [9].

## Wyniki i dyskusja

Skóra pobrana w trzech kierunkach wykazuje różne wartości wytrzymałości na rozciąganie, wartość naprężenia dla kierunku pobrania wzdłużnego wyniosła  $15,72 \pm 0,54$  MPa, poprzecznego  $7,92 \pm 2,23$  MPa i skośnego  $3,01 \pm 0,93$  MPa (RYS. 1). Wartość modułu Young'a, analogicznie jak wartość wytrzymałości na rozciąganie jest najwyższa dla próbek wzdłużnych, dla początkowego zakresu próby rozciągania wartość modułu ( $E_1$ ) wyniosła  $3,97 \pm 0,48$  MPa, a dla liniowego odcinka krzywej rozciągania ( $E_2$ )  $62,76 \pm 0,99$  MPa. Dla kierunku pobrania próbek skośnego i poprzecznego wartości modułów są na porównywalnym poziomie (RYS. 2).

Przegląd literatury wskazuje, że właściwości biomechaniczne skóry oznaczane są zarówno w badaniach in vivo jak i in vitro [2]. Porównując wyniki badań, zarówno z wynikami dla skóry świńskiej, jak i ludzkiej można zauważyć duże różnice w oznaczonych wartościach parametrów wytrzymałościowych [2,4,7]. Wynika to z czynników opisanych we wstępie.

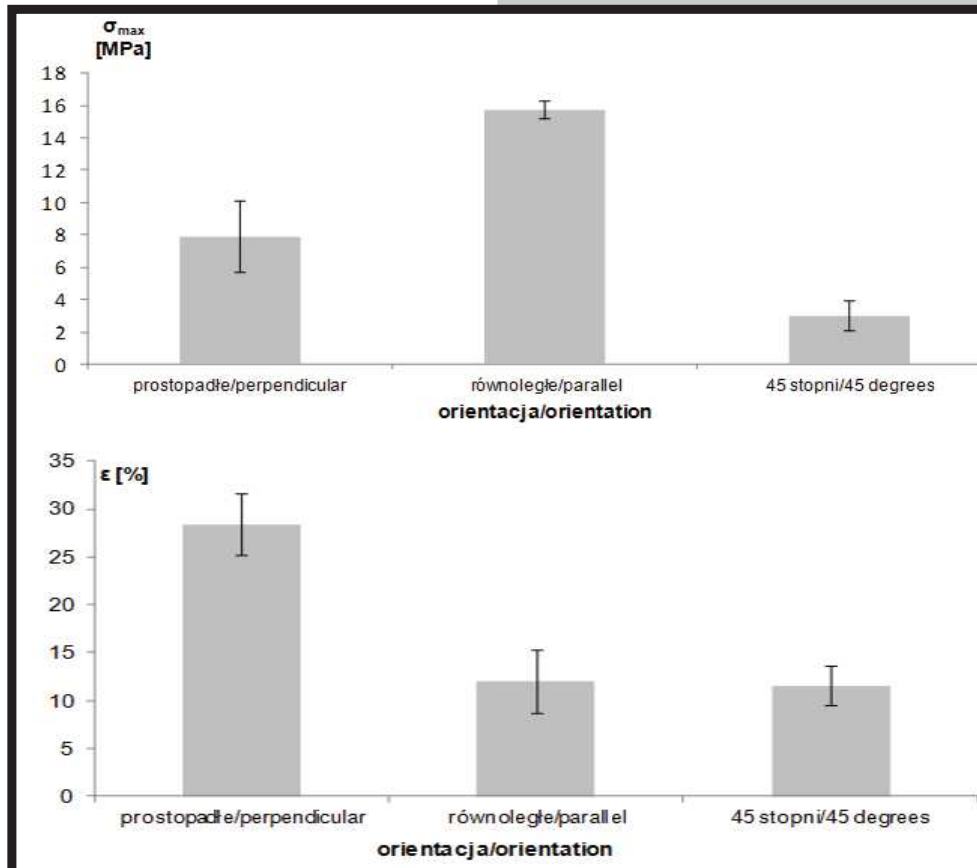
On the basis of the recorded curves of the force–extension, basic skin mechanical properties, i.e. the tensile strength ( $\sigma_{max}$ ), Young's modulus (E), and the strain for a maximum force ( $\epsilon$ ) were determined. For the calculations, a rectangular cross section of the sample was taken. The value of Young's modulus was calculated for two ranges of the tension curve: the initial one with a low slope ( $E_1$ ) in which loads are carried by elastic fibers [9], and the middle-rectilinear ( $E_2$ ) in which loads are transported by collagen fibers [9].

## Results and discussion

The skin taken in three directions reveals various values of tensile strength. The value of the stress for the parallel direction of taking (in the reference to the short axis of the body) equalled  $15.72 \pm 0.54$  MPa, perpendicular  $7.92 \pm 2.23$  MPa, and oblique  $3.01 \pm 0.93$  MPa (FIG. 1).

The value of Young's modulus, analogically to the value of tensile strength, is the highest for the parallel samples. For the initial stage of the tensile test, Young's modulus ( $E_1$ ) equalled  $3.97 \pm 0.48$  MPa, and for the linear segment of the tensile curve ( $E_2$ ) it was  $62.76 \pm 0.99$  MPa. For the oblique and perpendicular directions of sample taking, the values of the determined moduli are comparable (FIG. 2).

The literature review shows that the biomechanical properties of skin have been measured by both in vivo and in vitro tests [2]. No standard exist, thus study comparisons are difficult. While comparing the obtained test results to both the results for a pig's skin and for the human skin, great differences in the determined values of the strength parameters can be noticed [2,4,7]. This is due to the factors described in the introduction.

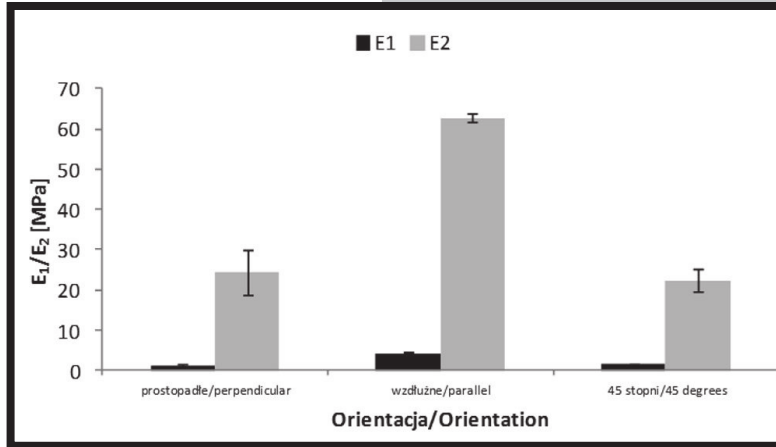


RYS. 1. Średnie wartości wytrzymałości na rozciąganie ( $\sigma_{max}$ ) i odkształcenia ( $\epsilon$ ) w zależności od kierunku pobrania.  
 FIG. 1. The average tensile strength values ( $\sigma_{max}$ ) and strain ( $\epsilon$ ) depending on the direction of sample taking.

Otrzymane wartości wytrzymałości i modułu sprężystości dla próbek skóry pobranych wzdłuż kręgosłupa świni różnią się znacznie od otrzymanych dla skóry świni przez Žak i wsp. [4], natomiast w pewnym zakresie wartości wytrzymałości na rozciąganie pokrywają się z otrzymanymi przez Lim, Hong i wsp. [7]. Przebieg jednoosiowego rozciągania próbek skóry świni zgadza się dobrze z próbkami skóry ludzkiej. Jednocześnie otrzymane zakresy wartości parametrów wytrzymałościowych skóry świńskiej korespondują z wartościami wytrzymałości skóry ludzkiej oznaczonej przez Ni Annaidh i wsp. [2] oraz Silver i wsp. [10].

## Wnioski

Odpowiedź skóry na obciążenia mechaniczne wykazuje wyraźnie jej lepko-sprężysty charakter. Energia dyssypacji, energia pochłaniania, energia zniszczenia, korelacja pomiędzy czynnikami reologicznymi, jak również poznanie parametrów mechanicznych skóry jest kluczowym dla oceny bezpieczeństwa organów i tkanek wewnętrznych, które skóra chroni przed urazami [10]. Obecnie opracowuje się matematyczne modele procesu wzrostu tkanek [11], czy ich regeneracji. Badania parametrów mechanicznych skóry pokazały, że wyniki znacząco zależą od orientacji włókien kolagenowych. Również sposoby, miejsca pobrania i przygotowania materiału badawczego wpływają na otrzymywane rezultaty [9,11]. Dane uzyskane w niniejszych badaniach dostarczają podstawowych informacji dla sformułowania strukturalnego modelu konstytutywnego skóry.



**RYS. 2. Średnie wartości modułu Younga ( $E_1$  i  $E_2$ ) w zależności od kierunku pobrania próbki.**

**FIG. 2. The average Young's modulus ( $E_1$  and  $E_2$ ) depending on the direction of sample taking.**

The obtained values of strength and modulus of elasticity for the skin samples taken along the pig's spine differ significantly from the values obtained for the pig's skin by Žak et al. who tested skin samples excised from different regions of the body [4]. However, the tensile strength values are equal in a certain range with the values obtained by Lim, Hong et al. [7].

The uniaxial tensile behavior of pig's skin obtained in this study agrees well with that

of human skin. The stress versus strain curve up to maximal force is J-shaped, although slope of the curve may differ from species to species. The obtained ranges of strength parameter values of a pig's skin correspond with the strength value of the human skin determined by Ni Annaidh et al. [2] and Silver et al. [10].

## Conclusions

The response of the skin to the mechanical loads clearly reveals its viscoelastic character. Dissipation energy, absorption energy, destruction energy, correlation between rheological factors, as well as researching skin mechanical parameters are crucial for the evaluation of the safety of the internal organs and tissues which are protected against injury by the skin [10]. From the point of view of an analogy between the human skin and a pig's skin mathematical models of a tissue growth process [11] or tissue regeneration are worked out in mechanics. In order to achieve this goal both quantitative and qualitative experimental research is necessary.

The methods, the spots from where the skin was taken, and the preparation of the researched material influence the obtained results [9,11]. The data obtained in this study will provide essential information for model the skin using a structural constitutive model.

## Piśmiennictwo

- [1] Pailler-Mattei C., Beca S., Zahouani H., In vivo measurements of the elastic mechanical properties of human skin by indentation tests, *Medical Engineering & Physics*, 2008, 30, 599-606.
- [2] Ni Annaidh A., Bruyere K., Destrade M., Gilchrist M. D., Ottenio M., Characterizing the anisotropic mechanical properties of excised human skin, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 2012, 5(1), 139-148.
- [3] Lemaitre J., *Handbook of Material Behavior. Non linear Models and Properties*, 10.11. Biomechanics of soft tissue, Academic Press, USA, 2001, 1057-1070.
- [4] Žak M., Kuroпка P., Kobielarz M., Dudek A., Kaleta-Kurawicz K., Szotek S., Determination of the mechanical properties of the skin of pig fetuses with respect to its structure, *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 2011, 13 (2), 37-43.
- [5] Langer K., On the anatomy and physiology of the skin, *British Journal of Plastic Surgery*, 1978, 17(31), 93-106.

## References

- [6] Hendriks F.M., Mechanical behavior of human skin in vivo – a literature review, Nat. Lab. Unclassified report 820, Philips Research Laboratories, 2001, p. 52.
- [7] Lim J., Hong J., Chen W.W., Weerasooriya T., Mechanical response of pig skin under dynamic tensile loading, *International Journal of Impact Engineering*, 2011, 38, 130-135.
- [8] Neligan P. C., Gurtner G. C., *Plastic surgery. Principles*, vol. 1, Elsevier, 2013, p. 306.
- [9] Corr D., Hart D., *Biomechanics of scar tissue and uninjured skin*, *Advances in Wound Care*, 2013, 2, 2, 37-43.
- [10] Silver F.H., Freeman J.W., DeVore D., Viscoelastic properties of human skin and processed dermis, *Skin Research and Technology*, 2001, 7, 18-23.
- [11] Corr D.T., Gallant-Behm C.L., Shrive N.G., Hart D.A., Biomechanical behavior of scar tissue and uninjured skin in a porcine model, *Wound Repair and Regeneration*, 2009, 17, 250-259.