

Mudanças na Caracterização do Couro Cabeludo devido ao Processo de Expansões Sucessivas: uma caracterização *in vivo* usando a Equação Constitutiva de Delfino.

Djenane C Pamplona e Claudio R. Carvalho - Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, e-mail: djenane@puc-rio.br, claudio.pmjr@gmail.com

Henrique N. Radwanski e Ivo Pitanguy - Instituto Professor Ivo Pitanguy, Rio de Janeiro.

Introdução

Nas cirurgias plásticas, reparadora ou estética, o conhecimento do comportamento da pele humana, *in vivo*, é de fundamental importância para planejar e aperfeiçoar procedimentos cirúrgicos. A técnica de expansão da pele tem como objetivo a obtenção de uma quantidade adicional de cobertura cutânea, para a utilização na recuperação de queimados, reconstrução mamária, retirada de cicatrizes com aparência indesejada entre muitas outras aplicações. A expansão é um processo fisiológico, definido pela habilidade da pele em aumentar sua área superficial, em resposta a uma deformação imposta. O processo se utiliza de expansores de pele, implantados sob a mesma e que tem seu volume interno aumentado semanalmente devido à infiltração progressiva de solução salina.

Objetivo

Este trabalho tem como objetivo fornecer aos médicos e pesquisadores da área, o conhecimento do comportamento da pele, no couro cabeludo quando submetida ao processo de expansão.

Metodologia *in vivo*

Um detalhado estudo *in vivo* envolvendo dois diferentes pacientes é acompanhado. Em cada paciente, quatro a seis expansões foram monitoradas, com pelo menos cinco dados, relacionando o volume de líquido inserido e a pressão interna antes, durante e após a infiltração, registrados em cada expansão, fig.1. Foi possível obter uma considerável quantidade de dados para fundamentar a pesquisa *in vivo*.



Figura 1: Medindo a expansão da pele no paciente 1, (a) agulha, (b) seringa, (c) manômetro.

Resultados *in vivo*

Na figura 2 é possível observar os dados obtidos no paciente 1 em seis expansões, a terceira expansão não foi monitorada. Devido às características viscoelásticas

da pele, após seis dias a pressão intra-expansor desce para zero.

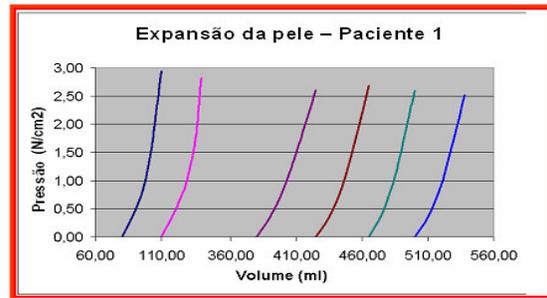


Figura 2: Resultados obtidos em 7 semanas de expansões sucessivas.

Análise Numérica

Para obter os parâmetros visco elásticos que melhor possam caracterizar a pele nas diferentes etapas da expansão torna-se necessária uma análise numérica que modele todo o processo de expansão, respeitando a geometria de cada expansão. A análise numérica foi realizada com elementos finitos de membrana e elementos fluidos do programa ABAQUS. A pele foi considerada uma membrana homogênea, isotrópica, hiper-elástica e incompressível. A comparação entre os resultados numéricos e obtidos *in vivo* viabilizou a caracterização do tecido. Foram estudadas diversas equações constitutivas, e a equação constitutiva de Delfino foi escolhida (1),

$$W = \frac{a}{b} \left\{ \exp \left[\frac{b}{2} (I_1 - 3) \right] - 1 \right\} \quad (1)$$

onde: a e b são parâmetros que caracterizam o material e I_1 o primeiro invariante de deformação.

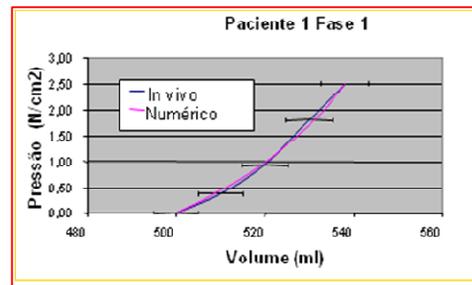


Figura 3: Comparação dos resultados numérico e *in vivo* para o paciente 1, na primeira expansão.

Na figura 3 é possível observar os resultados obtidos *in vivo* e os resultados numéricos obtidos com uma malha de 126 elementos híbridos lineares quadrangulares (M3D4 e M3D3) para discretizar a área expandida de 13,6cm x 5,5cm tendo 0,5cm de espessura inicial, fornecida pelo cirurgião, fig.4. É importante ressaltar que a geometria obtida ao final de uma expansão será a geometria inicial da próxima expansão, em que as tensões atingidas ficam nulas devido à relaxação. Para a espessura usa-se a espessura média da etapa anterior como espessura inicial. Utilizado o Método de Newton Raphson obtiveram-se os parâmetros $a = 0,213$ MPa e $b = 31,5$ para esta etapa da expansão, para este paciente.

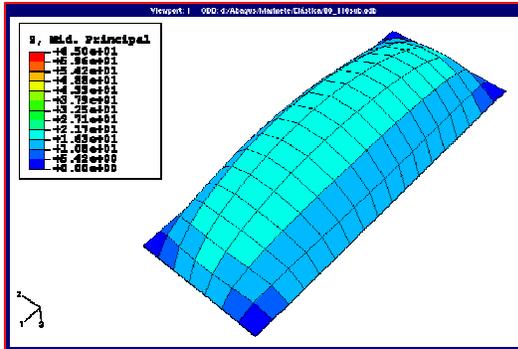


Figura 4: Tensões máximas obtidas na primeira expansão do paciente 1.

Caracterização

Nas figuras 5 e 6 é possível observar o comportamento dos parâmetros a e b durante o processo de expansão dos dois pacientes. Na figura 5 observa-se que o parâmetro a muda de 0,213 MPa para 1,787 MPa com o percentual de volume inserido V^* . V^* é definido como o volume ao final da expansão dividido pelo volume nominal do expansor.

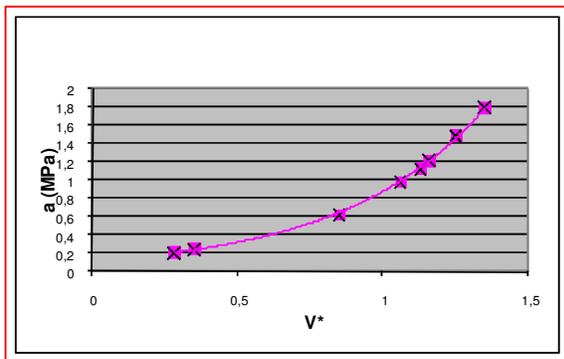


Figura 5: Curva mostrando o comportamento do parâmetro a com o volume inserido.

Já o parâmetro b da equação de Delfino, fig.6, muda de 30,5 para 79,2. A espessura inicial de ambos pacientes sendo de 0,5cm torna-se 0,13cm no final da expansão. Este valor deve, entretanto ser ainda menor pois para cada etapa foi utilizada como espessura inicial a espessura média da etapa anterior.

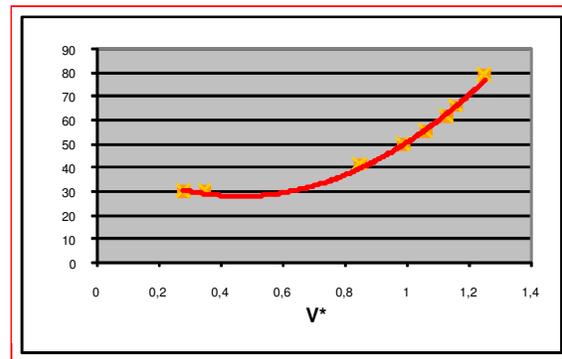


Figura 6: Curva mostrando o comportamento do parâmetro b com o volume inserido.

A extensão máxima, λ_{max} , obtida é 3,65 e a máxima tensão 679,6 KPa.

Conclusões

No estudo realizado, avaliamos principalmente as mudanças das constantes elásticas durante a evolução da expansão. Os resultados são bastante encorajadores e para nosso conhecimento, pioneiros. Como esperado, à medida que a pele é expandida há um aumento dos parâmetros elásticos da equação de Delfino. Certamente porque à medida que a pele expande há um estiramento das fibras de colágeno aumentando sua resistência à deformação. A coerência dos resultados, apesar do pequeno número de pacientes monitorados, pode dar uma primeira estimativa do problema. Baseado nestes resultados algumas recomendação já podem ser feitas aos cirurgiões com o intuito de orientá-los na cirurgia, entre elas, sugerir o número, forma e volume do expansor ou expansores que devem ser utilizados para alcançar o objetivo.

Agradecimentos

Estamos muito agradecidos à cooperação dos médicos envolvidos no processo de expansão *in vivo*, (Enfermar. 38 da Santa Casa da Misericórdia RJ, Serviço do Professor I. Pitanguy), assim como aos pacientes por seu suporte e incentivo. Ao CNPq e FAPERJ sem os quais esta pesquisa e o desenvolvimento desta área não seriam possíveis.

Referências bibliográficas

- Eshel H e Lanir Y, "Effects of Strain Level and Proteoglycan Depletion on Preconditioning and Viscoelastic Responses of Rat Dorsal Skin", *Annals of Biomedical Engineering*, v. 29, p 164-172, 2001.
- Pitanguy e outros, "Repeated Expansion in Burn Sequela", *Burns*, v. 28, p. 494-499, 2002.
- Hendriks F.M. e outros, "A Numerical-experimental Method to Characterize the Non-linear Mechanical Behaviour of Human Skin", *Skin Res Technol*, v. 9,3, p. 274-283, 2003.
- Socci L. e outros, "An Axisymmetric Computational Model of Skin Expansion and Growth", *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, v. 6, 2007.