

Análise biomecânica de um aparelho de fixador externo em um fêmur instrumentado com sensores ópticos

Biomechanical analysis of an external fixator device on a femur instrumented with optical sensors

DOI:10.34119/bjhrv6n6-454

Recebimento dos originais: 17/11/2023

Aceitação para publicação: 20/12/2023

Alessandra Kalinowski

Doutora em Engenharia Elétrica e Informática Industrial

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Endereço: Av. Sete de Setembro, 3165, Rebouças, Curitiba - PR, CEP: 80230-901

E-mail: ale.k11@hotmail.com

Celso Júnio Aguiar Mendonça

Mestre em Engenharia Biomédica

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Endereço: Av. Sete de Setembro, 3165, Rebouças, Curitiba - PR, CEP: 80230-901

E-mail: cjamendonca@yahoo.com.br

António Ramos

Doutor em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade de Aveiro

Endereço: Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

E-mail: a.ramos@ua.pt

Jean Carlos Cardozo da Silva

Doutor em Engenharia Elétrica e Informática Industrial

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Endereço: Av. Sete de Setembro, 3165, Rebouças, Curitiba - PR, CEP: 80230-901

E-mail: jeanccs@utfpr.edu.br

RESUMO

A consolidação de uma fratura tratada cirurgicamente, é influenciada, entre outros fatores, pelas condições mecânicas impostas pelo material de osteossíntese utilizado. Este trabalho tem por objetivo descrever com um estudo preliminar sobre a consolidação de fraturas simples na diáfise do fêmur através do estudo mecânico de fixadores externos. Sensores ópticos baseados em redes de Bragg foram utilizados neste trabalho, para instrumentação de um fêmur sintético com fixador externo circular. Os resultados mostram que a instrumentação com os sensores ópticos foi sensível ao valor da carga transferida (sensibilidade variou entre 0,012 $\mu\epsilon/N$ e 0,224 $\mu\epsilon/N$) o que permite análise da rigidez do fixador externo e posterior análise biomecânica da consolidação da fratura. Este estudo mostra que é possível a instrumentação de um fixador externo com sensores ópticos durante o tratamento de uma fratura do fêmur para análise do processo de consolidação óssea.

Palavras-chave: fêmur, biomecânica, fixador externo, sensores a fibra óptica, redes de Bragg.

ABSTRACT

The consolidation of a surgically treated fracture is influenced, among other factors, by the mechanical conditions imposed by the osteosynthesis material used. This work aims to describe a preliminary study on the consolidation of simple fractures in the femoral shaft through the mechanical study of external fixators. Optical sensors based on Bragg gratings were used in this work to instrument a synthetic femur with a circular external fixator. The results show that the instrumentation with optical sensors was sensitive to the value of the transferred load (sensitivity varied between $0.012 \mu\epsilon/N$ and $0.224 \mu\epsilon/N$), which allows analysis of the stiffness of the external fixator and subsequent biomechanical analysis of fracture consolidation. This study shows that it is possible to instrument an external fixator with optical sensors during the treatment of a femur fracture to analyze the bone consolidation process.

Keywords: femur, biomechanics, external fixator, fiber optic sensors, Bragg gratings.

1 INTRODUÇÃO

Durante o tratamento das fraturas submetidas a osteossíntese, é de amplo interesse o conhecimento sobre os processos de reparo e do remodelamento ósseo por parte do médico ortopedista. Entre as formas de tratamento de fraturas, principalmente em fraturas graves, os fixadores externos são comumente utilizados no tratamento de politraumatizados, pois favorecem a mobilização precoce do indivíduo e o tratamento adequado de partes moles (pele, tendões, músculos) diminuindo os riscos de complicações. As condições mecânicas impostas a uma fratura por um fixador externo influenciam significativamente a taxa de consolidação e o modo pelo qual a união ocorre [1, 2], portanto, há necessidade de se conhecer o comportamento mecânico dessas estruturas e como transferem suas cargas ao tecido ósseo de forma a estimular o reparo e a consolidação da fratura.

Uma forma promissora de analisar o comportamento do tecido ósseo e do fixador externo, é através da utilização de sensores FBGs (Redes de Bragg em fibra óptica – Fiber Bragg Gratings). As redes de Bragg são estruturas periódicas gravadas no núcleo da fibra óptica e respondem à variações de temperatura e deformações longitudinais [3]. Nas últimas décadas, sensores a fibra óptica têm mostrado eficiência para monitorar grandezas biomecânicas, principalmente para aplicações *in vivo* devido às suas características, como flexibilidade, baixo peso, dimensão reduzida, estabilidade química, biocompatibilidade e imunidade à interferência eletromagnética [4].

Portanto, o objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento biomecânico de um fêmur sintético íntegro bem como o comportamento mecânico do aparelho de fixador externo fixado ao osso, utilizando redes de Bragg em fibra óptica.

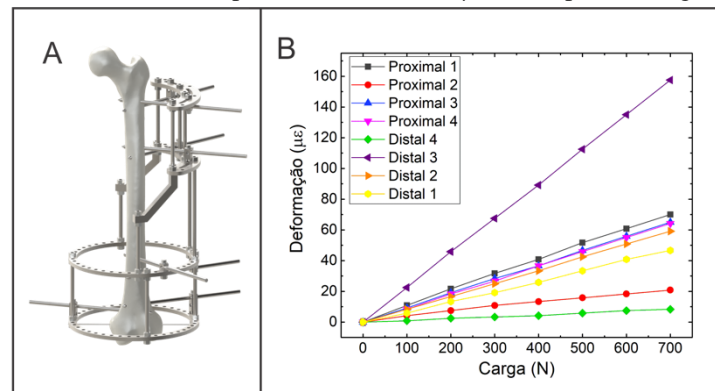
2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização do arranjo experimental foi utilizado um fêmur sintético de quarta geração fabricado pela Sawbones[®] íntegro, submetido a colocação (inserção) de um fixador externo circular de aço tipo Ilizarov fabricado pela Minas Med[®] e pinos de Schanz (parte do fixador externo) fabricado pela Traumedica[®]. O conjunto, fêmur e fixador, foi instrumentado com 31 FBGs gravadas em 6 cordões ópticos (fibra monomodo padrão para uso em telecomunicações), coladas com cola a base de cianoacrilato, de forma distribuída por todo o conjunto, sendo 23 sobre o fêmur e 8 sobre os pinos do fixador. Os pinos são as estruturas que fixam os arcos e anéis do fixador externo circular ao fêmur, podem ser vistos na Figura 1A. Esse conjunto foi submetido a carregamentos mecânicos feitos por um dispositivo contruído exclusivamente para este fim e que reproduz uma situação de um ser humano adulto em posição ortostática, descarregando o peso sobre os membros inferiores. O fêmur foi posicionado 11° no plano frontal e posição neutra no plano sagital. A carga aplicada variou de 0 até 700 N, de 100 em 100 N. Os sinais ópticos foram adquiridos por um interrogador SM130 da MicronOptics[®] e a carga aplicada foi monitorada por célula de carga ao sistema de aquisição Quantum X (HBM[®]).

3 RESULTADOS

A partir dos dados gerados pelas FBGs, observa-se que os pontos monitorados no fêmur sofreram compressão, com exceção de duas regiões que sofreram tração, a região inferior anterior do fêmur e a região superior lateral do fêmur. Os valores de deformações foram maiores na região medial e lateral do fêmur, variando de 426 $\mu\epsilon$ de tração na região lateral até 662 $\mu\epsilon$ de compressão na região medial, para a carga máxima de 700 N. Na região superior dos pinos (4 pinos proximais e 4 pinos distais), os valores de tração detectado pelas FBGs para uma carga de 700 N variaram de 8,3 $\mu\epsilon$ até 157 $\mu\epsilon$. A menor deformação foi observada no único pino medial e a maior deformação foi observada no pino lateral mais distal. O desenho esquemático do fêmur e os gráficos com os resultados referentes a medição dos pinos são apresentados na Figura 1.

Figura 1. A) Desenho esquemático do fêmur sintético com o fixador externo circular. B) Gráfico mostrando os dados das FBGs (coladas sobre os pinos do fixador) em $\mu\epsilon$ em resposta à carga aplicada em N.



Fonte: Autor.

Os dados mostram comportamento linear da variação da deformação medida em relação às forças aplicadas ao conjunto. As FBGs apresentaram sensibilidade de $0,012 \mu\epsilon/N$ até $0,224 \mu\epsilon/N$, sensíveis para a finalidade desejada. As informações obtidas pelo sistema proposto permitem avaliar quais pinos sofrem maior deformação mecânica, portanto, avaliar o comportamento das forças sofridas pelo conjunto. Essas forças podem ser relacionadas com a rigidez óssea/grau de consolidação óssea. Pretende-se analisar essas deformações *in vivo*, portanto serão analisados apenas os pinos que sofrem maior deformação.

4 CONCLUSÕES

O sistema de medição proposto se mostra promissor para avaliar grau de consolidação óssea através da medição do comportamento mecânico do fixador externo. Mais testes são necessários para caracterizar o sistema de medição, objetiva-se repetir o experimento com o fêmur fraturado e ainda realizar as medições no fixador externo *in vivo*, para então compreender melhor a distribuição de forças que afetam o equipamento durante o processo de consolidação óssea.

REFERÊNCIAS

- [1] Aro, H.T., Chao, E.Y.S. (1993). Bone-healing patterns affected by loading, fracture fragment stability, fracture type, and fracture site compression. *Clinical orthopaedics and related research*, 293, 8-17.
- [2] Claes, L. E., Cunningham, J. L. (2009). Monitoring the mechanical properties of healing bone. *Clinical Orthopaedics and Related Research®*, 467(8), 1964-1971.
- [3] Othonos, A. (1997). Fiber bragg gratings. *Review of scientific instruments*, 68(12), 4309-4341.
- [4] Roriz, P., Carvalho, L., Frazão, O., Santos, J. L., & Simões, J. A. (2014). From conventional sensors to fibre optic sensors for strain and force measurements in biomechanics applications: A review. *Journal of biomechanics*, 47(6), 1251-1261.