



Fabricação de sensores ópticos para espectroscopia de correlação de difusão (DCS)

Luiz H. S. Machado, Rodrigo M. Forti, Giovanni H. Scavariello, Rickson C. Mesquita
Instituto de Física "Gleb Wataghin", Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Introdução

O cérebro humano representa apenas 2% da nossa massa corporal, porém consome cerca de 20% de toda a nossa energia. Sua imensa complexidade intriga os cientistas até os dias de hoje, mesmo com todos os avanços tecnológicos atuais. Um dos maiores problemas no estudo do comportamento cerebral é a dificuldade em obter informações de forma não-invasiva.

Recentemente, o Laboratório de Óptica Biomédica do IFGW/UNICAMP criou um sistema pioneiro no Brasil capaz de monitorar o fluxo sanguíneo cerebral de seres humanos de forma não invasiva. O sistema é baseado na espectroscopia de correlação de difusão (DCS), e consiste em emitir luz na região de comprimentos de onda do infravermelho próximo (NIR, ~650-900 nm) no tecido biológico. Ao interagir com o tecido biológico, a luz espalhada fornece informações sobre o meio (coeficientes de absorção, μ_a , e de espalhamento, μ_s), que se relacionam com a oxigenação do tecido, além do deslocamento quadrático médio das partículas espalhadoras (que é proporcional ao fluxo sanguíneo). O transporte da luz do sistema ao tecido biológico é feito através de fibras ópticas. Em particular, o sensor óptico, que mantém as fibras ópticas em contato com o tecido, é de suma importância para a qualidade do sinal medido; pequenas mudanças nas distâncias iniciais dos sensores em relação ao tecido ocasionam mudanças indesejadas nas flutuações de intensidade medidas. Atualmente, é necessário importar sensores ópticos pré-fabricados para utilização do sistema no ambiente clínico. Neste contexto, o presente trabalho propôs construir um sensor óptico contendo as fibras ópticas customizadas para levar e trazer a luz entre o voluntário e o sistema DCS.

Materiais e Métodos

Para a construção das fibras ópticas, são necessários dois fluxos de processos. Para as fontes de luz, o objetivo principal é iluminar a maior área possível, o que pode ser facilmente atingido com uma fibra multimodo. Para as fibras detectoras de luz, é importante que o guia de onda não crie modos adicionais ao da detecção. Por este motivo, é necessário o uso de fibras monomodo, que têm um diâmetro muito pequeno. A solução que encontramos para aumentar a intensidade do sinal e a razão sinal/ruído foi confeccionar um *bundle* de detecção, composto por quatro fibras monomodo que captam luz praticamente no

mesmo ponto. A análise dos dados é feita utilizando a média das intensidades medidas separadamente nas quatro fibras, aumentando assim a razão sinal/ruído. Para acomodar as quatro fibras, confeccionamos um conector utilizando impressão 3D, a fim de acoplar a extremidade em que as fibras detectam luz no mesmo ponto com a extremidade que é conectada ao sistema DCS (Figura 1).



Figura 1. *Bundle* de fibras ópticas construídas para a detecção da luz no sistema de DCS. À esquerda é possível ver o conector fabricado para acomodar as quatro fibras monomodo.

Após finalizado o processo de fabricação das fibras ópticas, utilizamos uma impressora 3D para fabricar o sensor óptico que fixa as fibras sobre o tecido biológico. Como o intuito é medir o tecido biológico *in vivo*, o sensor deveria ser flexível para se ajustar às curvas da cabeça e garantir maior conforto para o voluntário, além de uma alta estabilidade das fibras. Por fim, todo o conjunto foi validado num voluntário sadio.

Resultados e Discussão

Experimentos de transmitância direta mostraram que a fibra óptica construída para ser utilizada como guia da fonte de luz transmitia 86% no comprimento de onda do sistema (780 nm). Este resultado é satisfatório, uma vez que o valor medido é comparável à transmitância de fibras ópticas comerciais de mesma finalidade.

Para as fibras detectoras de luz, usamos a intensidade média da luz espalhada por um meio altamente espalhador como métrica de validação. Ao todo, criamos 4 conjuntos de fibras ópticas para detecção da luz espalhada. A intensidade média detectada em cada conjunto variou entre 200 e 900 kHz (fótons por segundo), dentro da faixa de operação dinâmica dos detectores de contagem de fótons utilizados no sistema óptico. No entanto, em 3 dos 4 conjuntos uma das fibras monomodo foi danificada durante o processo de fabricação, indicando a complexidade de criar estes guias de onda de forma manual.

O sensor óptico passou por um processo de desenvolvimento baseado em tentativa e erro. Ao todo, foram desenvolvidos 6 protótipos até chegar no protótipo final, que fornecia estabilidade nas fibras ópticas e flexibilidade para moldar a região medida, além de proporcionar conforto ao voluntário. A versão final está ilustrada na Figura 2.

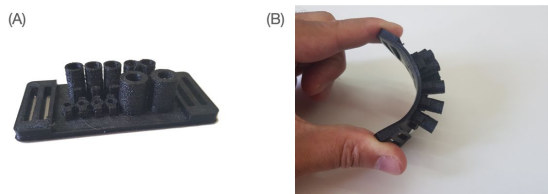


Figura 2. Versão final do protótipo do sensor óptico desenvolvido para acoplar as fibras ópticas ao tecido biológico.

Com as fibras e o sensor óptico construídos, realizamos uma medida de DCS na região frontal da cabeça de um voluntário sadio durante o estado de repouso (Figura 3). Como esperado, o fluxo sanguíneo medido com o sensor e as fibras se mostrou estável ao longo do tempo. Além disso, a transformada de Fourier do sinal indica um pico na região de 1,2 Hz, coincidente com a frequência do batimento cardíaco responsável por levar sangue a todas as regiões do corpo.

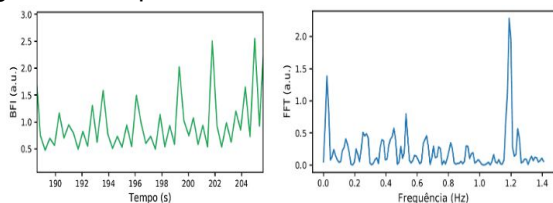


Figura 3. Medida do fluxo sanguíneo cerebral (BFI, à esquerda) ao longo do tempo obtida com o sistema DCS e o sensor óptico construído neste projeto. À direita, temos a transformada de Fourier da série temporal medida, indicando claramente a presença do batimento cardíaco na medida.

Conclusões

Os resultados obtidos nos permitem concluir que o fluxo de criação das fibras e do sensor óptico para aplicações clínicas de DCS foi bem sucedido. As fibras ópticas cruas, compradas no mercado nacional e conectorizadas e polidas internamente no laboratório são capazes de detectar pequenas flutuações da intensidade de luz espalhada, numa escala de tempo muito curta. Além disso, a utilização do sensor óptico criado proporciona maior estabilidade no acoplamento entre o tecido humano e as fibras ópticas, aumentando a qualidade do sinal medido.

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer a UNICAMP e ao Departamento de Raios Cósmicos e Cronologia por fornecer toda a estrutura, e ao PIBIT/CNPq pelo apoio financeiro. Agradeço ao meu orientador, Rickson Coelho Mesquita, por toda conversa, suporte e sugestões. Por fim, gostaria de agradecer aos membros do Laboratório de Óptica Biomédica, mais especificamente ao Giovanni Hering e ao Rodrigo Forti, por toda ajuda ao longo deste projeto.