

Escola de Talentos
Turma Hiperposição dos Charms

Laura Maeda Shida

Colégio Etapa

Uma forma de monitorar pacientes com
traumatismo craniano sem um corte
sequer, usando apenas luz infravermelha

São Paulo, SP

julho 2023

Resumo

Nesse texto acadêmico, será apresentado uma maneira de fazer o controle do fluxo sanguíneo de um paciente que sofreu um traumatismo craniano. Mas, ela não será feita de maneira convencional. Essa nova forma de controle não submeterá o paciente aos riscos de uma perfuração craniana. Daí a relevância do estudo de tal procedimento. Quem sabe, em poucos anos, a comunidade médica substitua a medição da pressão intracraniana atual por esse novo método nada invasivo.

Agradecimentos

À minha mãe que me apoia, me incentiva, me acompanha de perto e, acima de tudo, compartilha dos meus sonhos , seja pelas minhas conquistas como pela minha felicidade. Foi ela quem me apresentou as olimpíadas científicas, minha porta de entrada para a Escola de Talentos.

Ao meu pai que sempre trabalhou muito , e pôde assim proporcionar a opção para que minha mãe deixasse sua profissão para se dedicar a mim e a meus irmãos de forma integral. Além disso, é ele quem me acalma nos dias de maior estresse.

Aos meus irmãos que me fazem companhia em São Paulo e que extraem minhas maiores risadas.

Aos meus colegas de turma Alexys, Arthur, Carlos, Carolina, Luiza e Ricardo que passaram um ano comigo lendo, aprendendo e apresentando slides do Feynman Lectures on Physics.

Aos meus amigos que estão sempre abertos aos meus desabafos e que comemoram comigo minhas conquistas.

Aos professores Marcelo, Ricardo, Leonardo e Fabrício que conduziram os “happy hours clandestinos” de forma leve apesar de estarmos aprendendo tópicos avançados de física.

Ao meu orientador professor Rickson Mesquita que passou esse último ano ensinando a mim, à Carolina e à Luiza a física atrelada à neurociência. Não se limitando apenas ao tópico referente aos nossos TCCs, como também nos mostrou como a biologia da escola não é uma “decoreba”, tecendo assim curiosidades interessantes em torno da neurociência.

Ao Instituto Principia, que promoveu a criação da Escola de Talentos, e a todos que estão por trás de seu funcionamento. Ela, muito mais do que uma escola, representa uma oportunidade para conhecermos de perto o meio científico, as pessoas mais influentes na ciência brasileira e alunos com a mesma “sede” em aprender.

E à Stark Bank que financia os encontros presenciais das Escola de Talentos, fundamentais para o relacionamento mais próximo entre professores e alunos e apresentação de nossos TCC.

1. Introdução

O traumatismo craniano ou traumatismo cranioencefálico é uma patologia neurológica em que acontece uma lesão no encéfalo devido a um trauma externo. Esse trauma pode acontecer em um acidente de carro, em uma pancada ao praticar esportes radicais ou até mesmo em uma queda grave. Essa lesão no crânio é tão comum que, segundo os dados do SUS (Sistema Único de Saúde), entre janeiro de 2010 a dezembro de 2019, foram registradas 1.045.070 internações por traumatismo craniano [1]. Além disso, foi possível observar que o número de internados do sexo masculino correspondia a 76,23% dos casos e que a faixa etária predominantemente acometida foi de 20 a 49 anos (45,15%). Importante ressaltar que essas idades correspondem à parcela economicamente ativa da população e

que os gastos com a internação são altos. Com isso, percebe-se que além dos impactos na saúde do paciente, o traumatismo cranioencefálico também é responsável por impactos econômicos e sociais no Brasil.

O trauma pode ser classificado em 3 tipos: leve, moderado e grave. Nos casos leves, geralmente os pacientes passam apenas algumas horas em observação e já podem seguir o tratamento na própria casa. Em traumas moderados, o paciente deve permanecer internado no hospital para a realização do tratamento. Por fim, no trauma grave o paciente deve ser encaminhado à uma unidade de tratamento intensiva (UTI) [2]. É nesse último caso que irei me concentrar neste projeto.

Ao ocorrer a pancada durante um trauma grave, a caixa craniana permanece imóvel ou, pelo menos, praticamente imóvel. Enquanto isso, por inércia, o cérebro continua seu movimento. Por mais que haja meninges/membranas (pia mãe, aracnóide e dura mãe) e líquido (líquido que circula entre as membranas) que, dentre suas funções, está a absorção de choques, às vezes isso não é o suficiente para impedir que o cérebro encoste no crânio. O resultado pode ser o rompimento de vasos sanguíneos (arteríolas) que irrigam o cérebro. Com isso, acontece uma hemorragia e o sangue é extravasado dentro da caixa craniana. A hemorragia aumenta a pressão intracraniana (P_{ic}), que é a pressão resultante dentro do crânio e que depende da presença de três componentes: o cérebro, o líquido e o sangue (nesse caso, o responsável pelo aumento da pressão). A pressão intracraniana é muito relacionada com duas outras pressões:

$$PP_c = PAm - P_{ic}, \quad (1)$$

onde PP_c se refere ao gradiente de pressão responsável pelo fluxo sanguíneo cerebral, conhecido como pressão de perfusão cerebral, e PAm é a pressão que o sangue faz no interior das artérias (pressão arterial média).

Nota-se pela Equação (1) que, se a P_{ic} aumenta, a PP_c diminui. Assim, o fluxo sanguíneo, necessário para manter o cérebro funcionando, reduz, caracterizando um quadro isquêmico após o trauma cerebral. Isso é ruim, porque o sangue é responsável pela oxigenação do tecido, pelo transporte de nutrientes e pela retirada de toxinas das células do cérebro. Normalmente, a fim de tentar evitar as consequências causadas pela redução do fluxo sanguíneo cerebral, as arteríolas tentam utilizar o mecanismo de autorregulação. Esse mecanismo regulatório, que está presente no cérebro sadio, permite que o fluxo sanguíneo permaneça o mais constante possível durante as variações de pressão arterial por meio de variações na resistência cerebrovascular [3]. No cérebro, isso apresenta extrema importância, visto que reduz os riscos de hipóxia e edema cerebral. Se estiver intacto, o mecanismo de autorregulação auxilia a circulação a voltar ao normal. Porém, dependendo da gravidade do trauma, essa capacidade é perdida. E, assim, virão as consequências da falta de irrigação de sangue. Nesses casos mais graves, as

células da região morrem e, conseqüentemente, o tecido. Com isso, observamos as sequelas de um trauma, que podem ser: perda de movimento de parte do corpo, alterações na visão, problemas no controle urinário e perda de memória [2].

Por meio dessa breve introdução, percebemos a importância de monitorar a PPc após a ocorrência de traumas graves. Ela garante o controle do fluxo sanguíneo cerebral. Atualmente, isso é feito de duas maneiras principais. Uma delas, é medindo a Plc: é inserido um cateter conectado a um sensor de pressão, conforme ilustra a Figura 1 [4]. Para isso, deve ser feito um furo no crânio por meio de uma broca e do bisturi. Em seguida, é introduzido o kit de monitoramento intracraniano. Por ser bem invasivo, há riscos de infecção no tecido cerebral, principalmente se o monitoramento tiver duração superior a 5 dias, sendo essa uma das limitações. Além disso, há a possibilidade do desenvolvimento de outra hemorragia, resultado direto da colocação cirúrgica do dispositivo [5]. A outra (mais comum), representada pela figura 2 [6], é inserido um cateter que mede a oxigenação do cérebro que é proporcional ao fluxo sanguíneo, que também é proporcional à PPc.

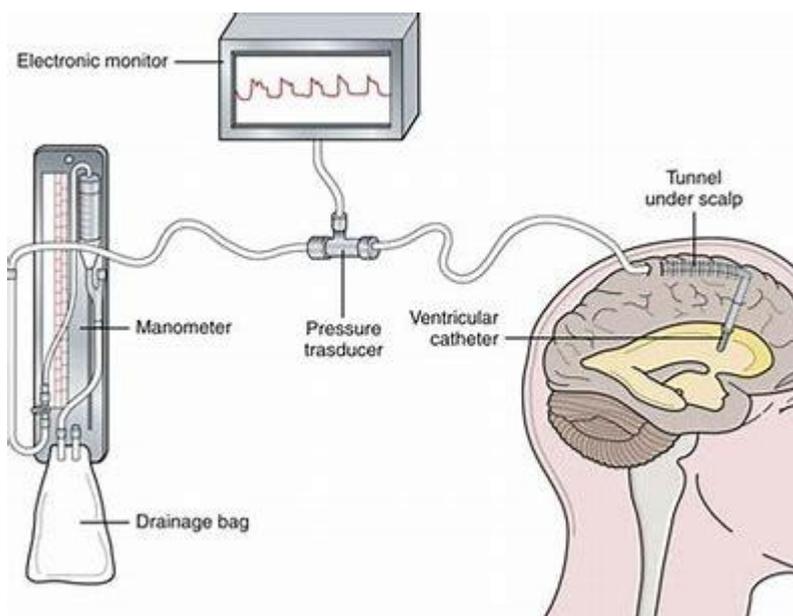


Figura 1: Está sendo representada a medição da Plc, de forma direta, a partir de uma perfuração no crânio.

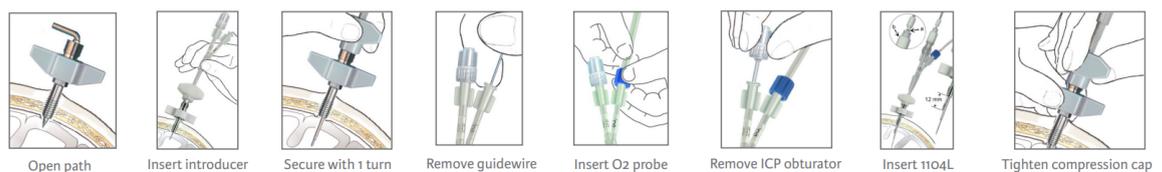


Figura 2: Observa-se, na imagem acima, a sequência de passos a serem seguidos para o monitoramento da concentração de oxigênio para indiretamente fazer a medição da PPc. Nesse caso, está sendo apresentado o Licox Brain Tissue Monitoring.

Neste contexto, o presente trabalho teve como propósito estudar alternativas não invasivas para fazer o controle do fluxo sanguíneo cerebral e/ou da pressão de perfusão cerebral. Em particular, o trabalho focou numa técnica óptica não invasiva, usando apenas luz no infravermelho próximo, o conceito de espalhamento de luz dinâmico e de autocorrelação.

2. Introdução à espectroscopia de correlação de difusão (DCS)

A espectroscopia de correlação de difusão (DCS, do inglês, *diffuse correlation spectroscopy*) é um método de medição de fluxo sanguíneo cerebral por meio dos conhecimentos da óptica. No DCS, haverá um emissor que emitirá luz no infravermelho próximo e também haverá um detector que captará a luz detectada em outra posição do tecido. Em seguida, a intensidade delas será comparada para conseguirmos informações a respeito do fluxo sanguíneo na região.

2.1 Por que a luz deve estar no espectro do infravermelho próximo?

No comprimento de onda do infravermelho próximo (aproximadamente 700-1000 nm) o corpo humano tem um baixo coeficiente de absorção, como apresentado na Figura 3 [7]. Ou seja, o corpo absorve pouca radiação nesses comprimentos de onda. Isso é essencial para métodos que dependem da comparação entre intensidades emitidas e detectadas, visto que, caso o coeficiente de absorção fosse alto, mal teria luz detectada o suficiente para fazer uma comparação que nos dê informações necessárias para descobrir o fluxo.

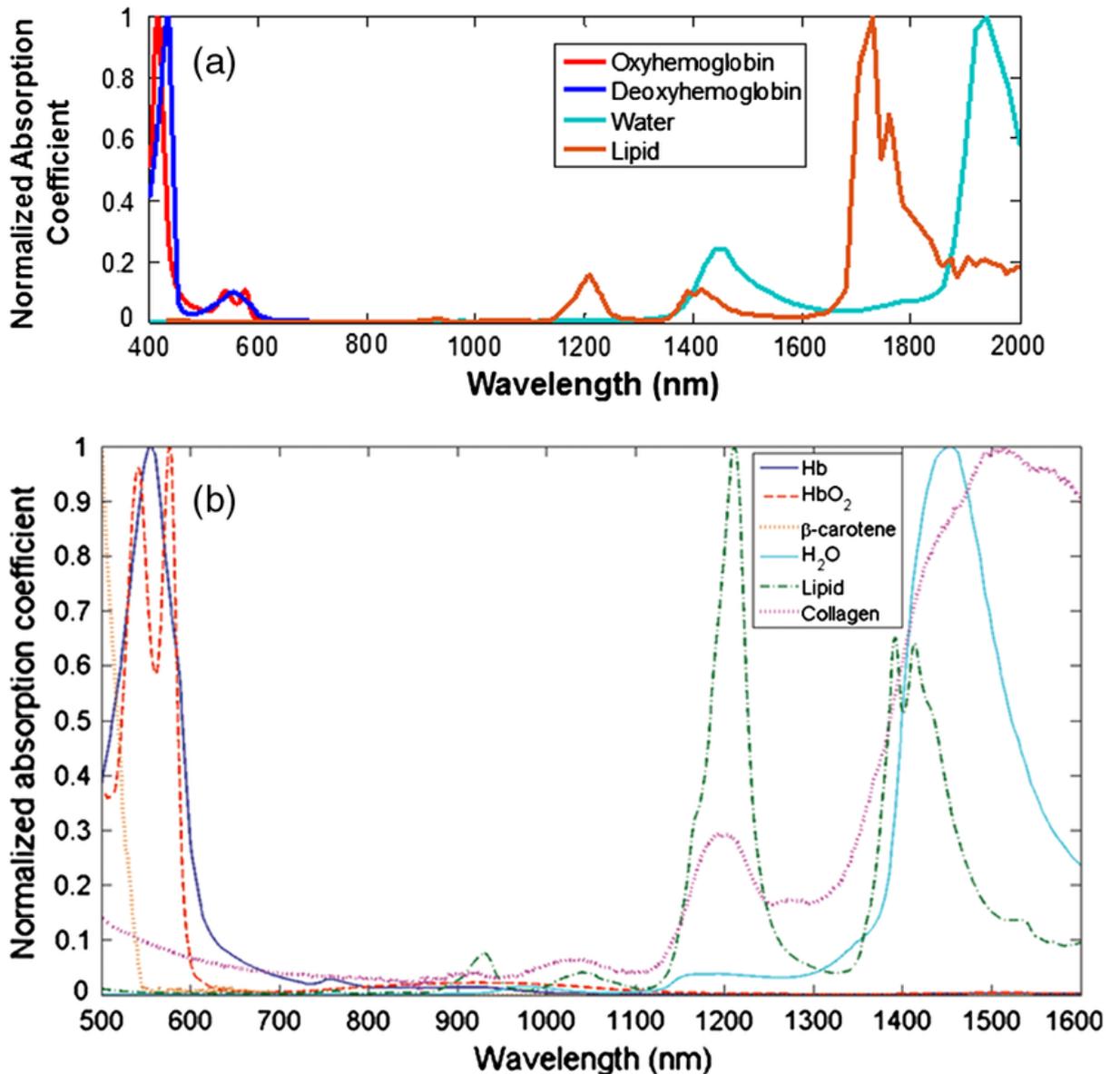


Figura 3: Observa-se que nos comprimentos de onda entre 750 e 1100 nm (comprimento de onda correspondente ao infravermelho) a oxihemoglobina, a desoxihemoglobina, a água, os lipídeos, o colágeno, o corpo humano como um todo apresenta os menores coeficientes de absorção. Isso é essencial para conseguir comparar as intensidades emitidas e detectadas e assim encontrar informações sobre o fluxo sanguíneo.

Além disso, o baixo coeficiente de absorção permite que mais luz seja espalhada, pois

$$\sigma_a + \sigma_s = 1$$

onde σ_a é a seção de choque de absorção e σ_s é a seção de choque de espalhamento. A seção de choque está relacionada com a probabilidade do evento ocorrer. Assim, a seção de choque de absorção representa a probabilidade de ocorrer absorção da luz no meio.

Considerando que um meio tem muitos corpos que podem absorver ou espalhar a luz, tipicamente definimos os coeficientes de absorção e espalhamento para meios macroscópicos, que estão relacionados tanto com a seção de choque quanto com a densidade das moléculas absorvedoras/espalhadoras presentes no meio:

$$\text{Coef de absorção} = \Sigma \left(\sigma_a \cdot \frac{N}{V} \right)$$

$$\text{Coef de espalhamento} = \Sigma \left(\sigma_s \cdot \frac{N}{V} \right)$$

Com mais luz espalhada, maior o espalhamento de luz dinâmico, conceito que será necessário para adquirir informações a respeito do fluxo sanguíneo.

2.2 O que é espalhamento de luz dinâmico?

Primeiramente, é importante saber o que é espalhamento. Em poucas palavras, esse é um processo físico em que a luz, ao se propagar, sofre um desvio devido às interações com o meio. Ou seja, a luz incidente que não é transmitida (isto é, não interage com moléculas do meio) é espalhada por diferentes angulações.

Nas situações em que o meio é homogêneo, não há espalhamento. Porém, o corpo humano é totalmente heterogêneo. Ele possui tecidos com densidades diferentes, células se movimentando, meios com diferentes velocidades de propagação e influências do movimento Browniano. Assim, a maior parte do espalhamento que ocorre no tecido biológico é dinâmico. Nele, a intensidade de luz espalhada detectada varia ao longo do tempo. Isso ocorre porque o meio (nesse caso, principalmente os componentes do sangue que espalham a luz) possui moléculas se movimentando. Então, os fótons não conseguem interagir sempre com a mesma molécula; quando um novo fóton chega, ela já mudou de posição por causa do fluxo sanguíneo.

2.2.1 O que é o movimento Browniano?

O botânico Robert Brown certa vez observou partículas de pólen que pareciam se movimentar ao serem observados pelo microscópio. Inicialmente, ele pensava que talvez esse movimento estivesse relacionado à vida. Porém, com mais observações de diferentes partículas (ex: substâncias inorgânicas) ao microscópio, ele pode concluir que, não, nada disso estava relacionado a um princípio ativo da vida.

Anos se passaram e, em 1905, Einstein propôs uma explicação para esse movimento. Ele seria um fenômeno da difusão que depende da temperatura, da viscosidade do fluido em que a partícula se encontra e do tamanho dessas partículas.

Para ilustrar o movimento Browniano podemos imaginar uma situação em que há duas pessoas bem distantes entre si. Uma delas se movimenta de forma aleatória, de pequenos passos em pequenos passos, para a direita ou para a esquerda, marcando seu trajeto percorrido. Outra, observa as marcações do trajeto realizado pelo primeiro. A pessoa observadora não consegue observar cada passo dado pelo outro, visto que as mudanças são pequenas demais para tão longa distância. Mas, em raras situações, a percepção do movimento é, sim, possível. Nelas, a pessoa que se locomove vai para um dos sentidos repetidas vezes. Dessa maneira, o trajeto marcado fica mais expressivo aos olhos do observador distante. Mas, essa situação é rara de acontecer. Assim ocorre com o grão de pólen: na maior parte das vezes não conseguimos perceber o movimento do grão de pólen, mas haverá raros momentos em que o deslocamento será grande e, conseqüentemente, perceptível.

2.3 Por que o espalhamento de luz dinâmico nos informa sobre o fluxo sanguíneo?

No momento em que verificamos I_d , notamos que, além de ser menor que I_0 (devido a absorção e aos fótons que “se perderam” no meio do caminho), I_d ainda é variável, como apresentado na Figura 4 [8]. Essa intensidade varia em torno de uma média justamente por causa do espalhamento de luz dinâmico. Nesse momento, é importante lembrar que, devido à heterogeneidade do nosso interior corporal, os fótons não conseguem interagir com a mesma molécula, visto que ela se movimenta. A consequência é essa I_d variando.

Dessa forma, de acordo com a flutuação da I_d , podemos ter indícios a respeito do movimento das moléculas que estão se movimentando (e, conseqüentemente, causando o espalhamento de luz dinâmico). Como as moléculas que apresentam movimento mais significativo dentro do nosso corpo são as células do sangue, a flutuação dá noção sobre o fluxo sanguíneo.

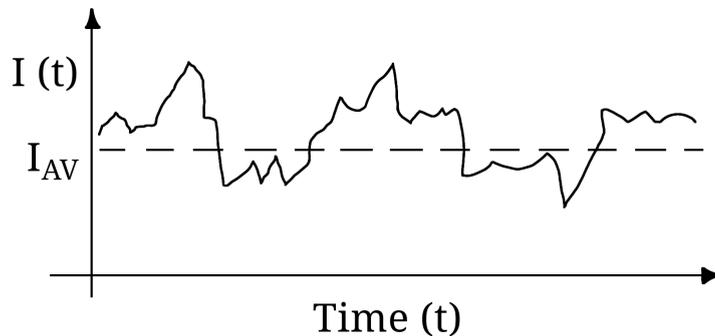


Figura 4: Neste gráfico está sendo representada a intensidade detectada. Além dela ser menor que a intensidade emitida, é importante ressaltar que ela não é constante, mas, sim, variável.

A partir da detecção de I_d , podemos quantificar a flutuação da intensidade por meio da função de autocorrelação, G . A função de autocorrelação é uma ferramenta usada para encontrar padrões entre as diferentes séries, ou seja, ela é a correlação de uma variável com ela mesma. Ela é usada para verificar o quão regular ou não é o comportamento da série. Para isso, é feita uma comparação da variação de uma determinada série no tempo t e no tempo $t + \tau$ [9]. Quando aplicamos esse conceito à intensidade que é medida no detector, I_d , obtemos a função G representada na Figura 4 (especificamente a curva representada em vermelho pintada em roxo e verde) [10]. Nela, observa-se que foram utilizadas duas intensidades, a I_d do tempo t e a I_d do tempo $t + \tau$. As funções dessas intensidades são comparadas e, por meio dessa comparação, encontra-se a função de autocorrelação. Ela representa o deslocamento quadrático médio das partículas que se movimentam, ou seja, ela mede o fluxo sanguíneo, assim como nós havíamos proposto na introdução.

Analisando melhor os resultados que obtemos com a função de autocorrelação, podemos afirmar que quanto menor o fluxo sanguíneo, menor a mudança espacial dos corpos que realizam o espalhamento. Assim, a I_d irá oscilar menos devido à redução do espalhamento. Com a quantificação dessa menor flutuação, a função G demora mais para chegar em valores mais baixos visto que seu comportamento aparenta ser mais regular. Daí a menor inclinação

(representada na Figura 4 pela cor azul). O contrário acontece quando observa-se um maior fluxo sanguíneo (representado por verde).

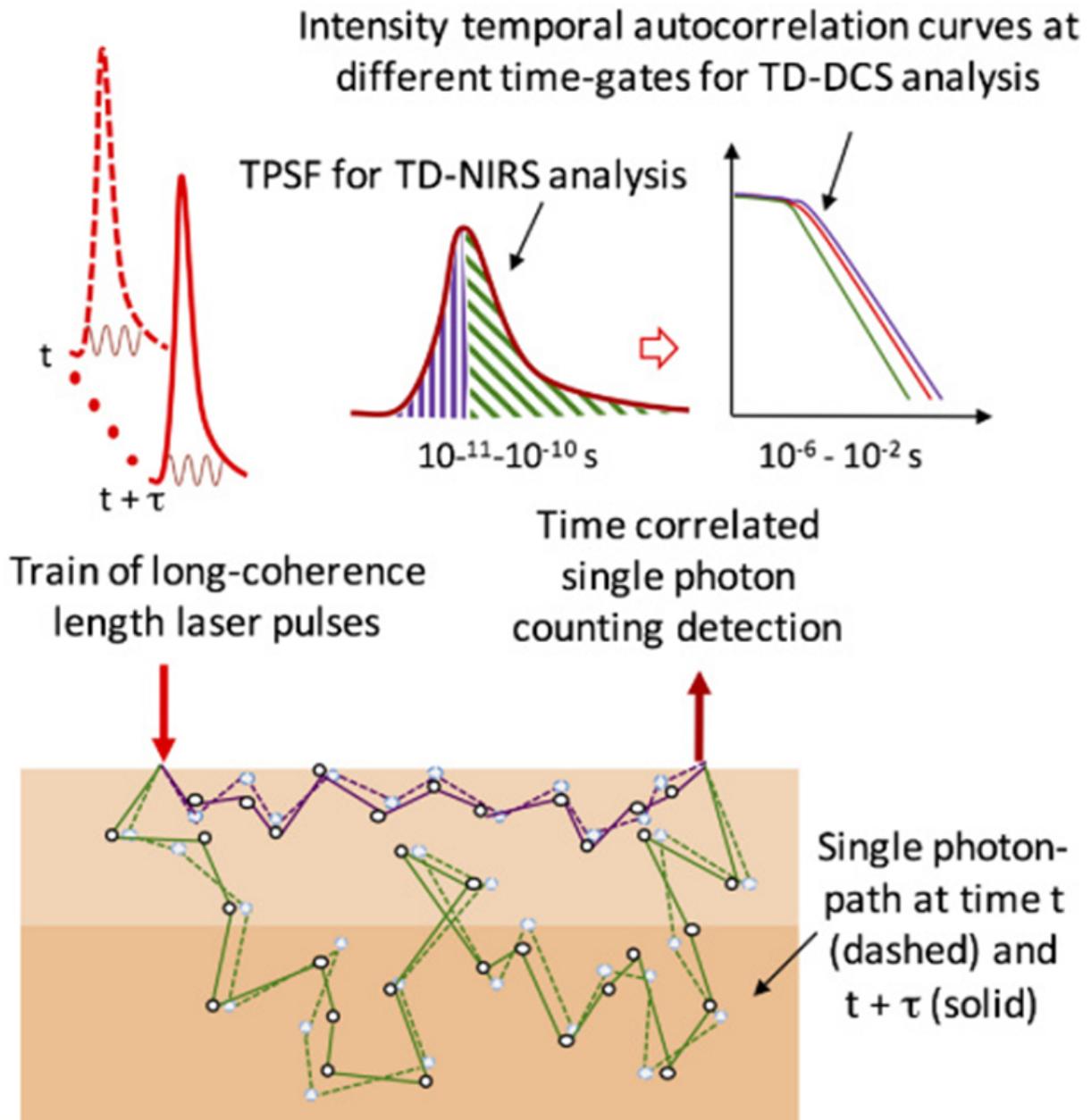


Figura 4: Dentro do tecido, foram representadas os fótons que foram emitidos no tempo t (roxo) e no tempo $t + \tau$ (verde). A partir disso, conseguimos obter a I_d em relação a emissão t e a emissão $t + \tau$. Por meio da função de autocorrelação, comparamos as funções dessas intensidades e, com isso, obtemos informações a respeito do fluxo sanguíneo.

3. Conclusão

Agora que sabemos a respeito do fluxo sanguíneo, podemos encontrar a PPc (o nosso objetivo apresentado na introdução). Sabe-se que a variação da PPc pode ser medida por meio da seguinte relação:

$\Delta PPc = \text{fluxo sanguíneo cerebral} \cdot \text{resistência do vaso à passagem do fluxo}$

onde a resistência do vaso à passagem do fluxo é o resultado da fricção do sangue contra as paredes do vaso, dependendo do diâmetro do vaso.

Dessa forma, o DCS pode substituir o licox, pois o primeiro permite uma relação mais direta com a PPc, visto que não depende da relação entre a oxigenação e o fluxo sanguíneo. O DCS também substitui a invasiva medição de pressão intracraniana, visto que ele pode encontrar a PPc sem ter que ser colocado um cateter na cabeça do paciente.

Referências

1. S. Julia, *TRAUMATISMO CRANIOENCEFÁLICO NO BRASIL: ANÁLISE EPIDEMIOLÓGICA*. Acadêmica da Faculdade de Medicina da Universidade de Rio Verde Campus Aparecida de Goiânia, GO, 2020
2. B. Clarisse, *Traumatismo craniano: o que é, sintomas, tratamento e sequelas*. Tua saúde. Disponível em: <[Traumatismo craniano: o que é, sintomas, tratamento e sequelas \(tuasaude.com\)](https://tuasaude.com/traumatismo-craniano-o-que-e-sintomas-tratamento-e-sequelas/)>. Acesso em : 10 julho 2023
3. Omar Touzani, Eric T. MacKenzie, *CHAPTER 41 - ANATOMY AND PHYSIOLOGY OF CEREBRAL AND SPINAL CORD CIRCULATION*. Neurology and Clinical Neuroscience, Mosby, 2007. Disponível em; <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323033541500456>>. Acesso em: 10 julho 2023
4. M. Ryan *et al*, *Intracranial Hypertension*. Julho 2016
5. T. Robert *et al*, *Intracranial Hypertension and Brain Monitoring*. Pediatric Critical Care, 2006
6. Integra LifeSciences. (2023). Integra Licox Brain Tissue Oxygen Monitoring. Integra Life Sciences. Disponível em <<https://www.integralife.com/file/general/1465323839.pdf>>. Acesso em: 12 julho 2023
7. W. Robert *et al*, *Review of short-wave infrared spectroscopy and imaging methods for biological tissue characterization*. Journal of biomedical optics. Março 2015
8. M. Rickson *et al*, *Diffuse optics: Fundamental Tissue Applications*. Department of Physics and Astronomy, University of Pennsylvania, Philadelphia, USA

9. B. Jonathan, *Statistical modelling and analysis*. 2005

10.Z. Bernhard et al, *Time-domain diffuse correlation spectroscopy*. Setembro 2016