

TOMOGRAFIA POR BIOIMPEDÂNCIA ELÉTRICA: UMA ALTERNATIVA PARA MONITORAÇÃO PULMONAR CONTÍNUA EM UNIDADES DE TERAPIA INTENSIVA [REVISÃO]

FONTOURA, I.S¹ , PIANEZZOLA, E.M² , PACHECO, M.T.T³

¹ Universidade do Vale do Paraíba / Mestrado em Engenharia Biomédica, Endereço: Av. Shishima Hifumi, 2911- Urbanova – São José dos Campos-SP, inglidfontoura@hotmail.com

² Faculdade Redentor/ Coordenação Pós-Graduação Fisioterapia em Unidade de Terapia Intensiva, Endereço: Praia do Flamengo, 66 - Bloco B - Sala 210
Flamengo - Rio de Janeiro – RJ, ezequiel.pianezzola@interfisio.com.br.

³ Universidade do Vale do Paraíba/ Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Endereço: Av. Shishima Hifumi, 2911- Urbanova – São José dos Campos-SP, mtadeu@univap.br

Resumo- A tomografia por bioimpedância elétrica é um método relativamente novo de imageamento que utiliza do potencial elétrico como estímulo para obtenção de imagens, uma corrente elétrica de baixa amplitude é injetada sobre a secção do corpo a ser estudada. É uma técnica não invasiva, não lesiva aos tecidos, portátil, de baixo custo e que pode ser utilizada à beira do leito; impedindo assim a desconexão do paciente aos instrumentos de suporte a vida. É extremamente útil na titulação fina da ventilação mecânica podendo assegurar aos pacientes ventilados com patologias heterogêneas de pulmão um recrutamento e uma PEEP adequada, contribuindo para uma redução de lesões associada ao ventilador e conseqüentemente reduzindo a mortalidade em Unidades de Terapia Intensiva.

Palavras-chave: bioimpedância, tomografia por bioimpedância elétrica, imageamento, monitoração pulmonar, unidade de terapia intensiva.

Área do Conhecimento: Ciências da Saúde ou III-Engenharias.

Introdução

A necessidade de ventilação mecânica artificial é hoje responsável por 30-50% das admissões em Unidades de Terapia Intensiva (UTIs). Desequilíbrios na ventilação regional, com colapso dependente da gravidade e hiperdistensão de zonas pulmonares não-dependentes, são, provavelmente, vinculados a lesão pulmonar associada à ventilação (VICTORINO, 2003).

Em pacientes com sérios danos pulmonares, a tendência a desenvolver alterações profundas nos processos de aeração é maior, e pode inclusive, causar danos permanentes. Nessas circunstâncias, a detecção precoce e procedimentos que visem evitar tanto o colapso pulmonar ou o pneumotórax são os procedimentos empregados para melhorar as funções pulmonares comprometidas, com conseqüência diminuição do índice de mortalidade. A obtenção do equilíbrio entre os extremos acima mencionados representa um desafio no ambiente das Unidades de Terapia Intensiva (UTI) (TRIGO, 2001).

Atualmente, a avaliação das condições do paciente pela análise de imagens obtidas por meio de tomografia computadorizada ainda é o procedimento mais confiável para a determinação de tais anormalidades. Entretanto a necessidade de deslocamento do paciente até o tomógrafo e, portanto, de afastá-lo dos equipamentos de

suporte de vida existentes na UTI, representa um risco grande; além disso, a natureza “estática” deste procedimento constitui um fator limitante, dada a dinâmica dos processos envolvidos (TRIGO, 2001).

Partindo-se do exposto a tomografia por bioimpedância elétrica pode ser considerada uma alternativa eficaz para monitoração pulmonar contínua em unidades de terapia intensiva, pois o método oferece resultados em tempo real e sem que haja a necessidade de retirar o paciente do leito e impedindo assim o afastamento dos equipamentos de suporte de vida existentes na UTI.

O presente estudo tem como objetivo descrever a eficácia da tomografia por bioimpedância elétrica na monitoração pulmonar em UTI, bem como citar as vantagens, desvantagens e resultados, correlacionando com métodos usados atualmente.

Material e Métodos

A fim de coletar na literatura a respeito do tema, uma estratégia de busca foi realizada incluindo consultas em bases de dados eletrônicas como LILACS e MEDLINE; combinações de títulos para pesquisa foram usadas: bioimpedância, tomografia por bioimpedância elétrica, tomografia por impedância elétrica, *bioimpedance*,

biompedance tomography, electrical impedance tomography (EIT).

A estratégia de revisão incluiu também checagem manual de referências literárias e teses de mestrado e doutorado que abordaram o tema.

Resultados

A despeito da longa história do uso e aplicação do conceito de impedância, o conceito físico de impedância elétrica não é do conhecimento da maioria dos pesquisadores. (VICTORINO, 2003).

O termo impedância vem da teoria do circuito: é a relação da tensão através de um elemento do circuito à corrente (CHENEY; ISAACSON; NEWELL, 1999).

Todas as substâncias encontradas na natureza possuem resistência ao fluxo de uma corrente elétrica. [...]. A lei de Ohm define essa característica elétrica das substâncias como sendo uma resistência (R) que é proporcional a diferença de potencial elétrico (E) dividido pelo fluxo da corrente (I), ou seja, $R=E/I$. Assim aplicando-se uma corrente elétrica contínua é possível caracterizar a resistência de qualquer substância (VICTORINO, 2003).

A bioimpedância elétrica é a medida da impedância elétrica do corpo humano e seus componentes, com subsequente análise dos fatores resistivos e reativos.

Segundo Tsadock (1999) a bioimpedância pode ser dividida em dois campos amplos: A bioimpedância de uma única célula e a bioimpedância do tecido. A bioimpedância de uma única célula é instrumental, é o isolamento e a identificação dos receptores da membrana. A bioimpedância do tecido permite a medida de mudanças volumétricas, como ocorre durante todo o ciclo respiratório e/ou cardíaco.

Nas últimas décadas o estudo da bioimpedância elétrica de tecido tem cada vez mais produzido numerosas tecnologias diagnósticas, entre elas a pletismografia por impedância, cardiografia por impedância, mamografia por impedância e tomografia por bioimpedância elétrica (EIT).

A EIT é um processo pelo qual se procura estimar o campo de condutividades no interior do corpo humano através de um método particular de obter imagens por meio da injeção de corrente elétrica de baixa potência no objeto a caracterizar. A imagem é obtida a partir dos potenciais elétricos ou correntes detectados na superfície do objeto (TRIGO, 2001; MOLINA, 2002).

Uma cinta de eletrodos é colocada na superfície do corpo (Figura 1), em torno da seção transversal que deseja observar. Aplica-se corrente elétrica num par de eletrodos e os potenciais elétricos que surgem nos demais

eletrodos são medidos e registrados por um sistema de aquisição de dados (LIMA, 2006).

É uma técnica recente de obtenção de imagens médicas para monitoração de tecidos biológicos. A EIT nos permite obter imagens que representam um plano transversal de qualquer seção do corpo humano (cabeça, tórax, etc.), onde cada "pixel" na imagem representa a sua impedância ou resistividade (LIMA, 2006).

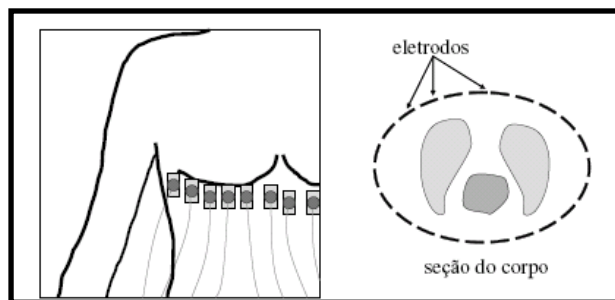


Figura 1 – Ilustração dos eletrodos em torno do tórax na Tomografia por bioimpedância elétrica.

Fonte: LIMA, 2006

A resolução das imagens geradas através da EIT é baixa, se comparada àquelas que se obtêm por outras técnicas de reconstrução tais como ressonância magnética, tomografia computadorizada ou ultra-som. Apesar disto, a EIT apresenta algumas vantagens. Em primeiro lugar, é inofensiva ao paciente pois, além de não ser invasiva, não utiliza qualquer forma de radiação. Outros pontos positivos são o baixo custo, devido a um hardware relativamente simples, e as dimensões reduzidas do equipamento, permitindo que seja facilmente transportado, evitando assim a necessidade de deslocamento do paciente para a realização do exame. Finalmente este método apresenta resposta temporal rápida, o que permite a estimação praticamente instantânea de mudanças abruptas na condutividade dos tecidos em observação (TRIGO, 2001).

Sua vantagem chave é sua definição temporal, que está na ordem de milissegundos (BAYFORD, 2006).

Já foram elaborados diversos estudos sobre EIT e, atualmente diferentes grupos de pesquisa no mundo vêm desenvolvendo a técnica. Entre elas destacam-se:

- na Inglaterra, a Universidade de Sheffield;
- em Madison, a Universidade de Wisconsin;
- nos Estados Unidos encontra-se o grupo do *Rensselaer Polytechnic Institute*;
- na Finlândia, a Universidade de Kuopio;
- e finalmente no Brasil, no Departamento de Engenharia Mecânica da EPUSP. Este trabalho conta com a cooperação de dois grupos de pesquisa, um do Departamento de Pneumologia HCFMUSP liderado pelo Dr.

Marcelo B. P. Amato, e outro do Departamento de Matemática Aplicada IME da Universidade de São Paulo, liderado pela professora Dra. Joyce Bevilacqua, conforme projeto temático FAPESP - Novas Estratégias em Ventilação Artificial: Diagnóstico e prevenção do Barotrauma/Biotrauma através da Tomografia de Impedância Elétrica (MOLINA, 2002).



Figura 2 – Aparelho produzido na FMUSP - do protótipo inicial do aparelho de tomografia por bioimpedância elétrica à versão mais recente.
Fonte: ALMEIDA (2005)

Durante os últimos anos, as pesquisas em EIT têm priorizado suas aplicações na Medicina.

As aplicações em Pneumologia são prioritárias na área médica pois o diagnóstico precoce e correto de anomalias em pacientes com danos pulmonares severos depende da visualização de diversas imagens do pulmão, para que o ajuste dos parâmetros de ventilação possa ser efetuado a contento (TRIGO, 2005).

A Pneumologia, entretanto, não é a única especialidade a utilizar-se da EIT. Dispositivos baseados neste método podem ser empregados, por exemplo, na detecção e localização de regiões cerebrais afetadas por acidente vascular cerebral (CLAY E FERREE *apud* TRIGO, 2005), no diagnóstico precoce de danos cerebrais decorrentes de asfixia durante o parto (GIBSON, BAYFORD e HOLDER *apud* TRIGO, 2005), monitoramento do funcionamento gástrico (MANGNALL *apud* LIMA, 2006), detecção de câncer de mama (BAYFORD, 2006), monitoramento do fluxo sanguíneo e das funções cardíacas (EYUBOGLU *apud* LIMA, 2006). O ponto comum a todas as aplicações citadas até aqui é a existência de gradientes elevados de resistividades entre os diferentes tipos de tecidos, decorrentes da concentração iônica presente, o que gera contraste entre eles e permite a estimação de imagens clinicamente úteis (TRIGO, 2005).

Imagens estáticas de uma secção transversal dos pulmões rotineiramente são obtidas através de raios-X, tomografia computadorizada ou ressonância magnética. Entretanto, não é possível monitorar continuamente pacientes em Unidade de Terapia Intensiva com tais técnicas, pois elas utilizam fontes radioativas ou necessitam de contrastes.

A EIT é capaz de detectar e monitorar uma série de complicações comuns em UTIs sem a necessidade de retirar o paciente deste ambiente e dos diferentes instrumentos de assistência à vida.

Isto significa que após a avaliação de imagens radiológicas pode-se acompanhar a resposta do pulmão às medidas terapêuticas com base em cada ciclo respiratório.

Porque é não-invasiva e facilmente transportável ela é apropriada para monitorar a função do pulmão em pacientes mecanicamente ventilados. Pode ser utilizado para adquirir informações, tais como a ventilação regional do pulmão, a distribuição regional do volume corrente (Figura 3), capacidade residual funcional, além disso, a acumulação de fluídos, a redistribuição da ventilação nos pulmões e a conformidade das curvas que podem ser reconstruídas a partir de dados da EIT (HINZ, 2003).



Figura 3 - À esquerda, imagem do pulmão cheio de ar capturada pelo Tomógrafo de Bioimpedância Elétrica; Ao centro, a mesma imagem capturada por Tomografia Computadorizada; À direita, mapeamento da perfusão pulmonar.
Fonte: ALMEIDA (2005)

Discussão

Segundo Amato (ALMEIDA, 2005) “até o momento o aparelho de EIT tem duas finalidades bem claras. Uma delas é oferecer uma estratégia de ventilação artificial mais protetora para o pulmão. A outra finalidade é prevenir complicações por meio de monitoração constante”

KUNST *et al* (1999) conclui que o uso da EIT na mensuração do recrutamento alveolar regional parece ser promissor e pode, conseqüentemente, ser útil no ajuste de ventilação mecânica em pacientes com falha respiratória aguda.

Para HAHN *et al* (1995) a EIT como procedimento adicional de avaliação da imagem funcional demonstrou ser um método apropriado e de eficácia sobre condições ventilatórias diferentes com o potencial em transformar-se numa ferramenta útil para monitorar a função respiratória.

A técnica permite uma inovação na interpretação da mecânica pulmonar,

demonstrando a necessidade de um estudo regionalizado do parênquima. Estresses regionais gerados por curtos períodos, antes inacessíveis ao estudo da mecânica pulmonar, passam a adquirir importância capital, principalmente em lesões induzidas pelo ventilador.

De acordo com Molina (2002), “na síndrome de angústia respiratória de adultos, a ventilação mecânica é usada para manter uma oxigenação adequada, mas pode causar danos ao pulmão. Conhecer qual região do pulmão está colapsada ajuda no ajuste da ventilação mecânica e indica a severidade do edema pulmonar”. Assim a EIT registrando as variações da impedância do pulmão mostra quais regiões são ventiladas, mas não irrigadas.

Eventualmente, através da EIT pode se desenvolver um retrato clínico melhor, assegurando aos pacientes ventilados com patologias heterogêneas de pulmão um recrutamento e uma PEEP adequada, com o objetivo de conseguir uma troca gasosa satisfatória e uma ventilação mais homogênea, para detectar e reduzir atelectasias, hiperdistensão entre outros. Essas medidas podem contribuir para uma redução de lesões associada ao ventilador e conseqüentemente reduzir a mortalidade.

Conclusão

A tomografia por bioimpedância elétrica é uma técnica nova de imageamento que está sendo considerada, cada vez mais, como uma ferramenta clínica extremamente valiosa para o auxílio diagnóstico, avaliação contínua dos efeitos imediatos da ventilação ou na intervenção terapêutica em pacientes ventilados mecanicamente, complementando eficazmente outras ferramentas para a monitoração respiratória.

O método é apropriado para monitorar a função do pulmão diretamente no leito, o aparelho fornece entre eles, uma avaliação da aeração regional do pulmão e do volume corrente.

Os resultados de diversos estudos indicam que EIT pode ser benéfica na otimização da terapia e em minimizar a incidência de lesões pulmonares associado ao ventilador.

A EIT pode substituir investigações radiográficas em determinadas situações, entretanto não deve ser aplicada para obter a informação morfológica similar à exploração de tomografia computadorizada ou ressonância magnética, desde que os últimos métodos diagnósticos fornecem a informação anatômica com uma definição espacial e morfológica mais elevada quando comparada a EIT.

Referências

-ALMEIDA, L.C. Aparelho desenvolvido na FMUSP otimiza monitoração de pacientes em ventilação artificial. **Jornal da FFM**. a.4. n. 21, p. 6-7, 2005.

-BAYFORD, R. H. Biopedance Tomography. **Annual Review of Biomedical Engineering**. v. 8, p. 63-91, 2006.

-CHENEY, M.; ISAACSON, D.; NEWELL, J.C. Electrical Impedance Tomography. **Siam Review**.v. 41, n. 1, p. 85–101, 1999.

-HAHN, G. *et al.* Changes in the thoracic impedance distribution under different ventilatory conditions. **Physiological measurement**. v. 16, , p. 161-173, 1995.

-HINZ, José *et al.* Regional Ventilation by Electrical Impedance Tomography. **Chest**. 124: p. 314-322, 2003.

-KUNST, Peter W. A. *et al.* Evaluation of electrical impedance Tomography in the measurement of PEEP-induced changes in lung volume. **Chest** .115, p. 1102-1106, 1999.

-LIMA, C. R. **Estudo de obtenção de imagens de tomografia por impedância elétrica do pulmão pelo método de otimização topológica**. 2006. 214 p. Tese (Doutorado) - ESC POLITÉCNICA, Universidade de São Paulo, 2006.

-MOLINA, N. A. V. **Redução de erro numérico no filtro estendido de kalman aplicado à tomografia por impedância elétrica**. 2002. 152 p. Tese (Mestrado) - ESC POLITÉCNICA, Universidade de São Paulo, 2002.

-TRIGO, Flávio Celso. **Estimação não linear de parâmetros através dos filtros de Kalman na tomografia por impedância elétrica**. 2005. 188 p. Tese (Doutorado) - ESC POLITÉCNICA, Universidade de São Paulo, 2005.

-TRIGO, Flávio Celso. **Filtro Estendido de Kalman aplicado à tomografia por impedância elétrica**. 2001. 113 p. Tese (Mestrado) - ESC POLITÉCNICA, Universidade de São Paulo, 2001.

-TSADOCK, Segalit. The historical evolutions of bioimpedance. **AACN Clinical Issues**, v.10, n.3. p 371-384, 1999.

-VICTORINO, J. A. **Tomografia de impedância elétrica: validação da ventilação regional através da tomografia computadorizada**. 2003. 150 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.