



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE MEDICINA
DEPARTAMENTO DE MEDICINA CLÍNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
EM CIÊNCIAS MÉDICAS

LIÉGINA SILVEIRA MARINHO

**INTERAÇÃO DA VENTILAÇÃO NÃO INVASIVA E MUDANÇAS DE DECÚBITOS
SOBRE A VENTILAÇÃO PULMONAR REGIONAL: ANÁLISE POR
TOMOGRAFIA DE IMPEDÂNCIA ELÉTRICA.**

FORTALEZA

2014

LIÉGINA SILVEIRA MARINHO

**INTERAÇÃO DA VENTILAÇÃO NÃO INVASIVA E MUDANÇAS DE DECÚBITOS
SOBRE A VENTILAÇÃO PULMONAR REGIONAL: ANÁLISE POR
TOMOGRAFIA DE IMPEDÂNCIA ELÉTRICA.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Ciências Médicas do Departamento de Medicina Clínica da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Médicas.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Alcantara Holanda

FORTALEZA

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências da Saúde

M29i

Marinho, Liégina Silveira.

Interação da ventilação não invasiva e mudanças de decúbitos sobre a ventilação pulmonar regional: análise por tomografia de impedância elétrica / Liégina Silveira Marinho. – 2014.
65 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará. Faculdade de Medicina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Médicas, Fortaleza, 2014.

Orientação: Prof. Dr. Marcelo Alcantara Holanda.

1. Tomografia. 2. Impedância Elétrica. 3. Ventilação Não Invasiva. 4. Postura. I. Título.

CDD 616.0757

LIÉGINA SILVEIRA MARINHO

**INTERAÇÃO DA VENTILAÇÃO NÃO INVASIVA E MUDANÇAS DE DECÚBITOS
SOBRE A VENTILAÇÃO PULMONAR REGIONAL: ANÁLISE POR
TOMOGRAFIA DE IMPEDÂNCIA ELÉTRICA.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Ciências Médicas do Departamento de Medicina Clínica da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Médicas.

Aprovada em: ___ / ___ / ___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Alcantara Holanda (Orientador)
Universidade Federal do Ceará-UFC

Prof. Dr. Armênio Aguiar dos Santos
Universidade Federal do Ceará-UFC

Prof. Dr. Vasco Pinheiro Diógenes Bastos
Centro Universitário Estácio do Ceará

Prof. Dr. Eduardo Leite Vieira Costa
Universidade de São Paulo

Há três métodos para ganhar sabedoria: primeiro por reflexão que é o mais nobre, segundo por imitação que é o mais fácil; e o terceiro, por experiência que é o mais amargo, porém o mais engrandecedor.

Confúcio

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela graça concedida de mais uma etapa vencida em minha vida.

Aos meus pais, Liduina Maria Silveira Marinho e Roque Feijó Marinho, eternos torcedores das minhas conquistas, o meu mais profundo sentimento de amor e gratidão pela entrega desmedida ao longo de toda a minha vida, por ter vivido comigo todos os meus sonhos e lutado incansavelmente para que eu pudesse realizá-los. Essa vitória é de vocês!

A minha irmã, Lidiene Silveira Marinho e minha família que foram o alicerce de amor para que eu pudesse seguir em frente.

Ao meu namorado, Alvaro Diaz Romero pelo apoio, carinho, compreensão e o amor de sempre para comigo, os meus sinceros agradecimentos.

A pessoa que acreditou no meu potencial e que me permitiu realizar esta tão sonhada etapa da minha vida, a quem eu devo muitos dos conhecimentos que adquiri durante esses anos, Prof. Dr. Marcelo Alcantara Holanda, o meu carinho e agradecimento. Sua competência e encantamento pela pesquisa sempre serão metas para quem o tem como mestre. Obrigada pela amizade e pelas lições.

Aos professores participantes da Banca Examinadora, Prof. Dr. Armênio Aguiar dos Santos, Prof. Dr. Vasco Pinheiro Diógenes Bastos e Prof. Dr. Eduardo Leite Vieira Costa, pelo tempo e pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos queridos amigos do Laboratório da respiração - RespLab, Andréa da Nóbrega Cirino Nogueira, Clarissa Bentes de Araújo Magalhães, Ingrid Correia Nogueira, Luíz Henrique de Paula Melo, Raquel Pinto Sales, Renata dos Santos Vasconcelos e Suzy Maria Montenegro Pontes, por termos formado uma verdadeira equipe, lutado e vencido juntos e porque nossa união nos fez pessoas melhores. O apoio de vocês foi fundamental, muito obrigada!

Aos acadêmicos de medicina Carlos Augusto Barros, Marcelo Matias, Aline Sampaio e Carla Renata Gomes, obrigada pela atenção e auxílio na realização dessa pesquisa.

Aos eternos mestres, que muito contribuíram para minha formação acadêmica, científica e profissional, o meu respeito: Andréa da Nóbrega Cirino Nogueira, Katia Virginia Viana, Maria Tereza Aguiar Pessoa Morano, Ricardo Coelho Reis, Soraya Maria do Nascimento Rebouças Viana e Vasco Pinheiro Diógenes Bastos.

Aos nobres amigos do serviço de fisioterapia do Hospital Universitário Walter Cantídio (HUWC-UFC), Ana Hogla, Aldair Tavares, Camila Barbosa, Edna Cardoso, Renata Gomes, Patrícia Carvalho e Wedla Lourdes Rebouças Matos que participaram direta ou indiretamente dessa conquista.

Aos colegas fisioterapeutas do Hospital Distrital Evandro Aires Moura (HDEAM) Fatima Sales, Nara Diógenes, Pedro Cabral, Regizeuda Aguiar, Raimundo Viana da Silva, Maria da Penha Machado, Cleonilce Ribeiro e Daniela Campos obrigada pela compreensão e apoio.

Às secretárias do Programa de Pós-graduação em Ciências Médicas, Ivone Mary Fontenele de Souza e Rita de Cássia de Almeida Antunes, obrigada pela atenção, carinho e disponibilidade de sempre para com todos os discentes do programa.

À Coordenadora do Programa de Pós-graduação em Ciências Médicas, Profa. Dra. Geanne Matos de Andrade, o meu agradecimento pelo apoio e a oportunidade de fazer parte de um programa de Pós Graduação tão respeitado.

A todos que direta e indiretamente participaram desse trabalho, muito obrigada!

RESUMO

A distribuição da ventilação pulmonar regional (DVPR) é heterogênea e pode ser influenciada por alterações posturais e pela aplicação de ventilação não invasiva (VNI), sendo a tomografia de impedância elétrica (TIE) capaz de detectar essas alterações. **Objetivo:** Avaliar os efeitos agudos da VNI, de mudanças de decúbitos, e a combinação dos dois, sobre a distribuição da ventilação pulmonar regional (DVPR), em voluntários adultos jovens saudáveis, através de análise de imagens obtidas por TIE. **Métodos:** Estudo aplicado, experimental, quantitativo e transversal, realizado em dez voluntários saudáveis, registrando-se o padrão ventilatório nos decúbitos dorsal (DD), ventral (DV) e laterais direito (DLD) e esquerdo (DLE), em respiração espontânea (RE), e com aplicação de CPAP (10cmH₂O) e BiPAP (15cmH₂O de IPAP e 5cmH₂O de EPAP), por dez minutos, em sequência randomizada. **Resultados:** A distribuição da ventilação foi direcionada para as regiões pulmonares dependentes nos DD, DLD e DLE. No DV a DVPR foi maior na região não dependente (zona dorsal). A mudança na DVPR foi maior nos decúbitos laterais em comparação ao dorsal, com um maior incremento de ventilação para o pulmão dependente no DLD do que no DLE. A aplicação de VNI (CPAP e BiPAP) não alterou a DVPR, apesar do aumento significativo ($p < 0,05$) do volume corrente em DD no modo BiPAP, ao ser comparado com a RE e ao modo CPAP. **Conclusões:** A análise das imagens do tórax obtidas pela TIE permitiu avaliar os efeitos da variação de decúbitos e da aplicação de VNI sobre a DVPR. A DVPR foi significativamente influenciada pelas mudanças de decúbitos em respiração espontânea. Em DV, posição prona, a DVPR foi maior nas partes posteriores do pulmão (região não dependente). Durante a VNI, a distribuição proporcional da ventilação pulmonar não foi alterada, porém no modo BiPAP, uma fração maior do volume corrente foi direcionado para a região dependente, sobretudo quando adotados decúbitos laterais, em comparação a RE e ao modo CPAP.

Palavras- chave: Tomografia; Impedância Elétrica; Ventilação Não Invasiva; Postura.

ABSTRACT

The distribution of regional lung ventilation (DVPR) is heterogeneous and may be influenced by postural changes and the application of non-invasive ventilation (NIV). The electrical impedance tomography (EIT) is probably able to detect and measure these changes. Objective: To evaluate the acute effects of NIV and changes in decubitus, and the combination of both interventions, on the DVPR in young adult healthy volunteers, through analysis of images obtained by EIT. Methods: This is an applied, experimental, quantitative and cross-sectional study in ten healthy volunteers, analyzing the ventilatory patterns in dorsal decubitus (DD), ventral (DV), right lateral (RLD) and left lateral (LLD), breathing spontaneously (BS), with CPAP (10 cmH₂O) and BiPAP (IPAP of 15 cmH₂O and EPAP of 5 cmH₂O) for a ten minutes period. Results: The distribution of ventilation was directed to the dependent regions of the lungs on DD, LLD and RLD. During DV, the DVPR was higher in the non-dependent regions (dorsal pulmonary zones). The change in DVPR was higher in the lateral decubitus position compared to the DD, with a greater increase in ventilation in the dependent lung while in the RLD as compared to the LLD. The application of NIV (CPAP and BiPAP) did not change the spatial DVPR, despite the significant increase ($p < 0.05$) in tidal volume in DD in the BiPAP mode, when compared to the BS and the CPAP mode. Conclusions: The analysis of the images of the thorax obtained by EIT allowed to evaluate the effects of changes in body positioning and application of NIV on the DVPR. The DVPR was significantly influenced by changing decubitus during spontaneous breathing. In the DV (prone positioning) the DVPR was higher in the dorsal parts of the lung (non-dependent regions). During NIV, the ventilation distribution was not changed, but a greater fraction of the tidal volume was directed to the non-dependent regions in the BiPAP mode as compared comparison to the BS and the CPAP mode and, especially when in both lateral decubitus.

Keywords: Electrical Impedance; Tomography; NIV; Posture.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	A ventilação por unidade de volume pulmonar	15
FIGURA 2.	Curva de complacência pulmonar (pressão x volume) e sua relação com as regiões pulmonares	16
FIGURA 3.	Distribuição da ventilação por unidade de volume nas posturas: supino e prona.	19
FIGURA 4.	Ciclos respiratórios fisiológicos	23
FIGURA 5.	Curvas de volume, fluxo e pressão com VNI no modo CPAP.	24
FIGURA 6.	Curvas de volume, fluxo e pressão com aplicação da VNI (PS + CPAP)	24
FIGURA 7.	Efeitos da aplicação do CPAP de 15 cmH ₂ O em imagens de TCAR.	26
FIGURA 8.	Montagem do experimento	33
FIGURA 9.	Desenho esquemático do estudo	33
FIGURA 10.	Desenho esquemático dos decúbitos	34
FIGURA 11.	Mapa de imagem funcional do TIE em um voluntário nos quatro decúbitos durante a respiração espontânea (RE), CPAP, BiPAP	46

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1.	Distribuição do percentual de ventilação pulmonar regional por quadrante em respiração espontânea.	37
GRÁFICO 2.	Percentual de ventilação pulmonar regional por quadrante em VNI, modo CPAP.	39
GRÁFICO 3.	Distribuição do percentual de ventilação pulmonar regional por quadrante durante a VNI, modo BiPAP.	41

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.	Dados demográficos e espirométricos dos voluntários jovens saudáveis.	36
TABELA 2.	Percentual da distribuição da ventilação pulmonar regional nos quatro quadrantes do tórax durante a respiração espontânea de acordo com o decúbito dos voluntários (n=10).	38
TABELA 3.	Percentual da distribuição da ventilação pulmonar regional nos quatro quadrantes durante a VNI, modo CPAP, de acordo com os decúbitos dos voluntários (n=10).	40
TABELA 4.	Percentual da distribuição da ventilação pulmonar regional nos quatro quadrantes durante a VNI no modo BiPAP (n=10).	42
TABELA 5.	Análise da distribuição da ventilação pulmonar regional nos quatro quadrantes em respiração espontânea e durante a VNI, nos modos CPAP e BiPAP, nos quatro decúbitos dos voluntários (n=10).	43
TABELA 6.	Os resultados da análise das variáveis nas três modalidades respiratórias nos quatro decúbitos em voluntários jovens saudáveis.	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BiPAP	Dois Níveis De Pressão Positiva Na Via Aérea
CPAP	Pressão Positiva Continua Nas Vias Aéreas
CRF	Capacidade Residual Funcional
CVF	Capacidade Vital Forçada
DD	Decúbito Dorsal
DLD	Decúbito Lateral Direito
DLE	Decúbito Lateral Esquerdo
DV	Decúbito Ventral
DVPR	Distribuição Da Ventilação Pulmonar Regional
DPOC	Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica
EPAP	Pressão Expiratória Positiva Em Via Aérea
f	Frequência Respiratória
FC	Frequência Cardíaca
HUWC	Hospital Universitário Walter Cantídio
IPAP	Pressão Inspiratória Positiva Em Via Aérea
IMC	Índice De Massa Corpórea
PEEP	Pressão Expiratória Final Positiva
PetCO ₂	Dióxido De Carbono Ao Final Da Expiração
PSV	Ventilação Com Pressão De Suporte
RESPLAB	Laboratório Da Respiração
SDRA	Síndrome Do Desconforto Respiratório Agudo
SpO ₂	Saturação Periférica De Oxigênio
QID	Quadrante Inferior Direito
QIE	Quadrante Inferior Esquerdo
QSD	Quadrante Superior Direito
QSE	Quadrante Superior Esquerdo
RE	Respiração Espontânea
TIE	Tomografia de impedância elétrica
UFC	Universidade Federal do Ceará
VC	Volume Corrente

VE	Volume Minuto
VEF ₁	Volume Expiratório Forçado No Primeiro Segundo
VNI	Ventilação Não Invasiva

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Ventilação pulmonar	15
1.2	Efeitos posturais sobre a ventilação pulmonar regional	18
1.2.1	Efeitos do decúbito lateral	19
1.2.2	Efeitos da posição prona	20
1.3	Efeitos da ventilação não invasiva sobre a ventilação pulmonar regional	22
1.3.1	Efeitos da VNI no modo CPAP	25
1.3.2	Efeitos da VNI no modo BiPAP	27
1.4	TIE como ferramenta de avaliação da ventilação pulmonar regional	28
1.5	Perguntas de partida	30
1.6	Hipóteses	30
1.7	Justificativa	30
2	OBJETIVOS	31
2.1	Objetivo Geral	31
2.2	Objetivos Específicos	31
3	MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1	Pacientes	32
3.2	Tomografia de Impedância Elétrica	32
3.3	Protocolo de estudo	33
3.4	Análise estatística	35
4	RESULTADOS	36
4.1	Distribuição da ventilação pulmonar regional em respiração espontânea	37
4.1.1	Decúbito dorsal – respiração espontânea	38
4.1.2	Decúbitos laterais – respiração espontânea	38
4.1.3	Decúbito ventral – respiração espontânea	38
4.1.4	Comparações entre os decúbitos	39

4.2	Análise da distribuição da ventilação pulmonar regional com VNI no modo CPAP	39
4.2.1	Decúbito dorsal – modo CPAP	40
4.2.2	Decúbitos laterais – modo CPAP	40
4.2.3.	Decúbito ventral – modo CPAP	40
4.2.4.	Comparações entre os decúbitos	41
4.3	Análise da distribuição da ventilação pulmonar regional com VNI no modo BiPAP	41
4.3.1	Decúbito dorsal – BiPAP	42
4.3.2	Decúbitos laterais – BiPAP	42
4.3.3	Decúbito ventral – modo BiPAP	42
4.4.4	Comparações entre os decúbitos	43
4.4	Análise da Distribuição da ventilação pulmonar regional durante a VNI comparando a respiração	43
4.4.1	Decúbito dorsal	44
4.4.2	Decúbitos laterais	44
4.4.3	Decúbito ventral	44
4.5	Variáveis fisiológicas cardiorrespiratórias	44
5	DISCUSSÃO	47
6	CONCLUSÕES	51
	REFERÊNCIAS	52
	APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	59
	APÊNDICE B - IDENTIFICAÇÃO DOS RESPONSÁVEIS POR ESTE TRABALHO	60
	APÊNDICE-C - CARTA DE ACEITAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA	61

1 INTRODUÇÃO

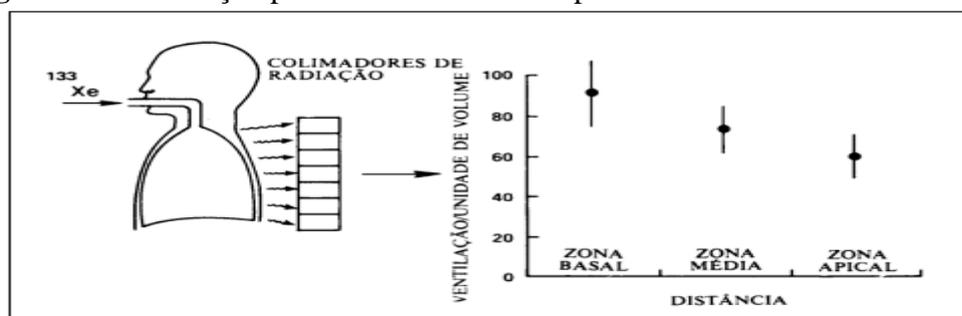
1.1 Ventilação pulmonar

A ventilação pulmonar é heterogênea no pulmão normal. O gás inspirado não é distribuído igualmente entre as várias unidades pulmonares, mesmo em indivíduos saudáveis (FOWLER, CORNISH, KETY, 1952; MILIC-EMILI, et al., 1966).

Essa desigualdade da ventilação pulmonar foi inicialmente mensurada através dos estudos com gases radioativos, como, por exemplo, o xenônio (Xe_{133}), que, quando inalado, se mistura com o gás inspirado e difunde-se para as várias regiões pulmonares. A radiação emitida pelo Xe_{133} atravessa a parede torácica, e pode ser medida por meio de colimadores de radiação fora do tórax. Forense e Bryan, em 1974, descreveram, em estudos realizados com indivíduos sadios, sentados, respirando normalmente a partir da Capacidade Residual Funcional (CRF), em única respiração com o gás Xe_{133} , que a ventilação relativa das várias regiões pulmonares é diferente no ápice e na base. As zonas pulmonares inferiores são relativamente mais ventiladas do que as superiores, sendo a ventilação diminuída à medida que se aproxima do ápice pulmonar.

A figura 1 mostra os resultados de medidas da ventilação pulmonar regional em uma série de voluntários saudáveis, usando o método de inalação de Xe_{133} . Tais achados mostram que a ventilação é maior na parte inferior do pulmão, reduzindo-se progressivamente, em direção ao ápice, na posição sentada (WEST, 1978).

Figura 1. A ventilação por unidade de volume pulmonar.



(WEST, 1978).

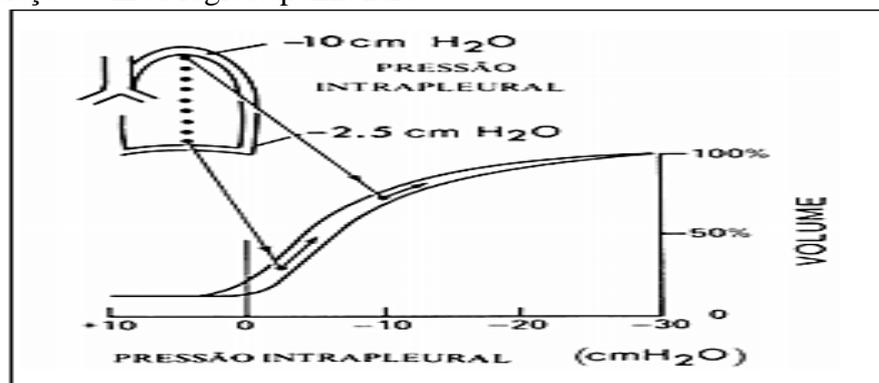
A distribuição topográfica da ventilação pulmonar em posição ortostática é atribuída, principalmente, ao gradiente vertical de pressão pleural existente entre o ápice e as

bases pulmonares (KANEKO et al., 1966; MILLIC-EMILI et al., 1966; GLAISLER, 1967). Durante a inspiração, a pressão transpulmonar varia, aumentando de modo não uniforme ao longo do pulmão. Analisando as zonas pulmonares, os alvéolos das áreas apicais são mais expandidos quando comparados aos da base. Estas diferenças regionais em expansão pulmonar foram explicadas por um modelo mecânico, com base na combinação de gradiente vertical da pressão pleural e na curva de volume-pressão estática do pulmão. (MILIC-EMILI et al., 1966, MILIC-EMILI; HERDERSON, KANEKO, 1967; WEST, 1987).

A curva pressão-volume pulmonar não é linear, de modo que, o pulmão tende a ficar mais rígido em altos volumes pulmonares. Analisando a curva de complacência alveolar e sua relação com a pressão pleural (demonstrada na figura 2), pode-se verificar que a pressão pleural é menos negativa nas bases, pois recebe maior influência do peso pulmonar, fazendo com que os alvéolos dessa região tenham um volume menor durante o repouso (MILIC-EMILI et al., 1966, MILIC-EMILI; HERDERSON; KANEKO, 1967; WEST, 1978).

Assim, durante a inspiração na base pulmonar, pequenas variações de pressão pleural ocasionam grandes mudanças de volume alveolar, pois esta se encontra numa região mais favorável da sua curva de complacência em comparação com as unidades alveolares mais apicais. Por outro lado, como a pressão pleural é mais negativa nos ápices pulmonares, os alvéolos dessa região têm um volume maior durante o repouso, ou seja, são mais aerados imediatamente antes de iniciar a inspiração. Nos alvéolos do ápice, por se encontrarem numa faixa desfavorável da sua curva de complacência, verifica-se menor variação de volume em resposta à variação de pressão pleural, quando comparada àquela observada nas unidades alveolares das bases (MILIC-EMILI et al., 1966, MILIC-EMILI; HERDERSON; KANEKO, 1967; WEST, 1978).

Figura 2- Curva de complacência pulmonar (pressão x volume) e sua relação com as regiões pulmonares.



A base pulmonar encontra-se na faixa favorável da curva. O ápice pulmonar está na região de menor complacência da curva (WEST, 1978).

Portanto as regiões pulmonares dependentes recebem maior parcela do volume de gás inspirado do que as regiões não dependentes. O gradiente vertical de pressão pleural é causado por vários mecanismos, incluindo diferenças nas estruturas anatômicas pulmonares (KANEKO et al., 1966).

A estrutura da árvore brônquica possui ramificações assimétricas que também podem favorecer à heterogeneidade da ventilação pulmonar, tanto em indivíduos saudáveis, como naqueles com doenças respiratórias. Outro fator considerado essencial é o próprio peso dos pulmões, decorrente da força gravitacional, que influencia o grau de aeração dos alvéolos (KANEKO et al., 1966; MILLIC-EMILI et al., 1966; GLAISLER, 1967; GALVIN, DRUMMOND, NIRMALAN, 2007). Há atualmente alguns autores que consideram que a geometria fractal da árvore brônquica, e suas 24 gerações de ramos, seja um fator tão ou mais importante que a força da gravidade na determinação da distribuição regional da ventilação pulmonar (GALVIN, DRUMMOND, NIRMALAN, 2007).

A distribuição da ventilação é naturalmente instável e dependente também da postura, do calibre das vias aéreas, do comprimento regional dos pulmões, e de outras características estruturais do sistema respiratório (GLAISTER et al., 1970). Outros fatores também influenciam nessa distribuição, sendo os mais importantes a complacência alveolar local e a resistência das vias aéreas, a ventilação minuto, o volume corrente inspirado, o volume pulmonar pré-inspiratório, a posição do indivíduo (ALDERSON e LINE, 1980), a contração de diferentes grupos musculares (ROUSSOS et al., 1977), o fluxo inspiratório (PAVIA et al., 1985) e a frequência respiratória (CHAMBERLAIN et al., 1983).

Este padrão de heterogeneidade da ventilação é também observado na perfusão pulmonar. Na posição ereta, as bases são mais profundidas do que as regiões apicais. No ápice pulmonar, a pressão pleural muito negativa faz com que os alvéolos permaneçam muito insuflados, o que comprime os capilares pulmonares. O oposto ocorre nas bases, pois a pressão pleural menos negativa permite que os alvéolos desta região fiquem menos insuflados e, portanto, não exercendo compressão sobre os vasos alveolares, ocasionando maior perfusão nessa área (WEST, 1978).

A teoria que traz a gravidade como o principal determinante da heterogeneidade da ventilação tem sido deixada de lado. A microgravidade tornou-se uma ferramenta valiosa para avaliar a função pulmonar quando a gravidade é removida por um longo período de tempo, o que permite obter valiosas informações acerca dos efeitos da gravidade sobre o pulmão e o comportamento do material no interior do mesmo (PRISK, 2000).

Prisk et al. (2006) ao avaliaram os efeitos da microgravidade em voluntários saudáveis, mostraram que o volume corrente (VC), a força muscular respiratória e a troca gasosa não sofreram degradação fisiologicamente significativa. Porém, a exposição prolongada a microgravidade por si só não afetou prejudicialmente os aspectos mecânicos da função pulmonar, pelo menos em termos de VC e da força muscular respiratória, e não resultou em diminuição da troca gasosa pulmonar, apesar da redução da taxa metabólica.

Frerichs et al., em 2001, analisaram a função pulmonar regional durante a normogravidade (1G), hipergravidade (2G) e microgravidade (0G) induzida por vôos parabólicos, em sete indivíduos saudáveis, nas posturas supina e laterais direita e esquerda durante respiração espontânea. Eles observaram que não houve diferença significativa na magnitude da ventilação entre as regiões dependentes e não dependentes do pulmão direito e esquerdo, durante as mudanças de postura e das fases de gravidade. O padrão de esvaziamento de pulmão foi mais homogêneo em microgravidade, ocorrendo a não-linearidade do esvaziamento pulmonar durante a normogravidade e hipergravidade. Porém, as diferenças regionais entre a CRF foram amenizadas em microgravidade, enquanto que em hipergravidade, o pulmão não dependente mostrou uma CRF maior quando comparado a normogravidade, sugerindo uma maior distensão alveolar.

1.2. Efeitos posturais sobre a ventilação pulmonar regional

A função pulmonar pode ser afetada pela posição do corpo humano, podendo promover mudanças no volume pulmonar, na função do diafragma, na distribuição do gás inspirado, na distribuição do fluxo sanguíneo, assim como na troca gasosa (CHANG et al., 2002).

A mudança na posição corporal altera a magnitude e a direção da distribuição da ventilação pulmonar, produzindo adaptações funcionais nos pulmões e ocasionando alteração na pressão pleural, dependendo do tipo de postura (REHDER, 1998; GLAISTER, 1967).

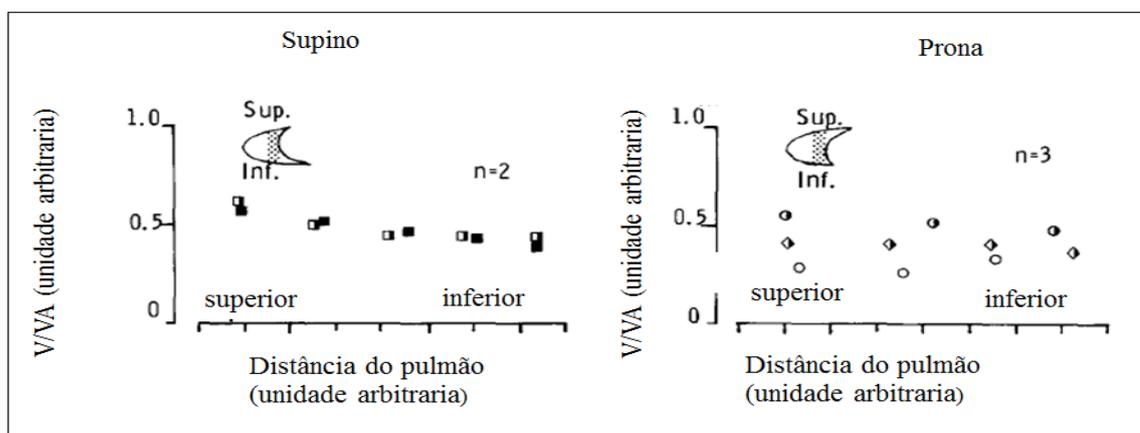
Em indivíduos em respiração espontânea, a distribuição do gás inalado, partindo da CRF, ocorre preferencialmente para as áreas dependentes nas posturas dorsal e lateral (ROUSSOS et al., 1977).

Um estudo avaliou esta questão em 12 voluntários normais, em que foram avaliadas cinco posturas: sentada, dorsal, ventral, lateral direita e esquerda, utilizando-se a

câmara gama e a inalação do gás radioativo Krypton (81m e 85m). Foram analisadas as fatias pulmonares distribuídas em porções verticais e horizontais, localizadas na parte central das áreas estudadas, para demonstrar a diferença de expansão pulmonar entre as regiões pulmonares inferiores e superiores. Como resultado, verificou-se que um aumento da ventilação regional da região superior para a inferior em todos os decúbitos, com exceção do decúbito ventral, em que a distribuição da ventilação foi mais uniforme, ocasionando uma inversão das zonas de expansão pulmonar (AMIS, JONES, HUGHES, 1984).

Analisando a figura 3 é possível observar que a distribuição do volume pulmonar varia em relação ao eixo estudado (vertical e horizontal), assim como em relação a postura corporal adotada. Analisando no eixo vertical, na postura supina, a região inferior obteve maior volume de ar que a região superior, contudo, na postura prona, essa distribuição foi mais homogênea (AMIS, JONES, HUGHES, 1984).

Figura 3. Distribuição da ventilação por unidade de volume nas posturas: supino e prona.



(Modificado de AMIS, JONES e HUGHES, 1984).

1.2.1 Efeitos dos decúbitos laterais

De todos os decúbitos, os laterais causam as maiores mudanças em relação aos volumes pulmonares estáticos, à ventilação pulmonar regional, à perfusão e à capacidade de difusão (DEAH, 1985). No decúbito lateral, a ventilação regional é maior no pulmão infralateral (dependente ou voltado para baixo). Esse aumento da ventilação para a região

dependente pode ser resultado de quatro elementos mecânicos: a gravidade, a queda relativa do mediastino em direção ao plano de apoio, e a posição mais cranial do hemidiafragma infralateral, provocada pela pressão hidrostática das vísceras sobre sua face abdominal (DEAH, 1985; ROUSSOS et al., 1977) e pelas variações dos volumes pulmonares, sendo o volume do pulmão esquerdo menor que o direito (GALVIN, DRUMMOND, NIRMALAN, 2007).

1.2.2. Efeitos da posição prona

As mudanças posturais ocasionam alterações dentro da caixa torácica que cursam com deformações no parênquima pulmonar, repercutindo nas alterações regionais das pressões pleurais, impondo diferenças de pressões transpulmonares ao longo do eixo torácico, cada posição ocasionando diferentes gradientes. A posição prona faz com que esse comportamento da pressão pleural seja mais homogêneo, por redistribuir uma parcela do volume pulmonar estático de repouso para a região não dependente (região posterior), aumentando a aeração basal nessa região e diminuindo a heterogeneidade da distribuição da ventilação (LIU et al., 1979). Além disso, na posição prona a pressão hidrostática influencia no peso pulmonar, ocasionando uma redistribuição da aeração pulmonar nas regiões não dependentes (dorso), assim como a propriedade mecânica e as deformações da parede torácica também interferem na homogeneidade da insuflação pulmonar (PELOSI, BRAZZI; GATTINONI, 2002; WINKELER, 2006).

Na postura prona a ventilação é distribuída de forma diferente da encontrada nos decúbitos dorsal e lateral. Nestes, a ventilação é distribuída em maior percentual para a região dependente, porém, na postura prona a ventilação se direciona em maior percentual para a região não dependente (dorsal) (HUBMAYR et al., 1983; LIU et al., 1990; PELOSI, BRAZZI; GATTINONI, 2002; GALIATSOU et al., 2006).

Esse efeito da posição prona tem sido largamente empregado no tratamento de pacientes com lesão pulmonar e Síndrome da Angústia Respiratória Aguda (SARA). Quando aplicada nesta condição, a posição prona resulta em uma redistribuição da ventilação, reduzindo-a onde há sobreposição de pressão, zonas ventrais ou anteriores, diminuindo a pressão transpulmonar sobre áreas pulmonares mais aeradas, e de outro lado, facilitando uma reabertura das áreas atelectasiadas nas zonas dorsais, por aumentar a pressão transpulmonar

nestas regiões, neste caso sendo não dependentes. Estes efeitos favorecem leve aumento do fluxo sanguíneo para regiões com normalidade na relação VA/Q e uma melhora significativa da oxigenação. Isso explica a resposta rápida de melhora na oxigenação arterial no posicionamento desse decúbito em até 70% dos pacientes com SARA e a melhora da sobrevida (PAPPERT et al., 1994, GUERIN et al., 2013). De fato, em um estudo multicêntrico, randomizado, avaliando 466 pacientes com SARA de moderada a grave ($\text{PaO}_2/\text{FIO}_2 < 150$), em ventilação controlada, foi observada diminuição significativa da mortalidade em 28 dias nos pacientes submetidos ao uso da posição prona. A mortalidade foi de 32,8% no grupo em decúbito dorsal *versus* 16% nos pacientes tratados com a posição prona ($p < 0.001$). Este estudo enfatiza o benefício do emprego desta intervenção em pacientes com SARA, quando aplicada precocemente e mantida por longos períodos (GUÉRIN et al., 2013).

Já quanto à perfusão, a topografia e a estrutura anatômica dos vasos parece ser um dos principais fatores determinantes. Por exemplo, o fluxo sanguíneo é maior nas regiões posteriores do que na região anterior, e isto pouco se altera com a mudança na postura de supina para prona. Beraldo (2013), quantificou a distribuição regional da aeração e da perfusão pulmonar, em ambas as posições, prona e supina, através da tomografia de impedância elétrica (TIE) e da tomografia computadorizada multidetector (TC), correlacionando-as com as respectivas trocas gasosas. Foram estudados 21 suínos, anestesiados e em ventilação mecânica controlada. Os animais foram divididos em dois grupos, de acordo com o método de imagem. As análises quantitativas das imagens obtidas por TIE e TC evidenciaram a mesma quantidade de tecido pulmonar colapsado entre os dois métodos e as duas posições, porém a oxigenação arterial foi sempre mais comprometida durante a posição supina, com aumento significativo do *shunt* pulmonar, sugerindo que a posição prona melhora a oxigenação e a relação ventilação-perfusão, mas não atenua os efeitos gravitacionais sobre o parênquima pulmonar. O favorecimento da troca gasosa na posição prona seria decorrente da perfusão pulmonar sofrer pouca alteração no decúbito ventral devido a peculiar anatomia vascular pulmonar, quando se compara ao que ocorre com a ventilação (WEST, 2002).

Hoffman et al. (1985 e 1983) forneceram, contudo, novas ideias sobre o gradiente de pressão pulmonar através da tomografia computadorizada, estudando a insuflação pulmonar em modelos experimentais, nas posições supina e prona, evidenciando uma diminuição do gradiente ventro-dorsal de densidades pulmonares, bem como uma diminuição das pressões transpulmonares necessárias para insuflar o pulmão durante a posição prona.

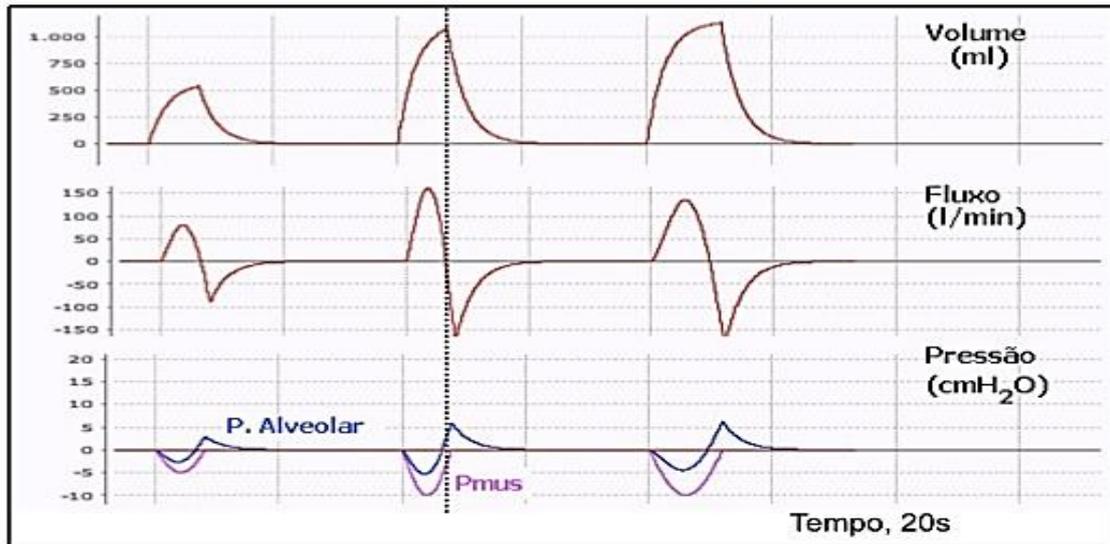
Estudo utilizando a TCAR, realizado pelo nosso grupo, avaliou a aeração pulmonar nas zonas pulmonares do hilo, ápice e base, em oito voluntários adultos saudáveis, na respiração espontânea e com a aplicação de CPAP de modo não invasivo. Aplicação de níveis diferentes de CPAP, resultou em maior aeração, com níveis crescentes de pressão e maior homogeneização da aeração pulmonar, tanto na posição supina como em prona. Houve menor hiperaeração nas regiões não dependentes (região dorsal) na posição prona, em relação à supina sem CPAP e com CPAP de 10cmH₂O, com distribuição mais homogênea da aeração pulmonar na primeira posição (WINKELER, 2006).

1.3. Efeitos da ventilação não invasiva sobre a ventilação pulmonar regional

A ventilação mecânica é um método de suporte ventilatório utilizado para substituir total ou parcialmente a respiração espontânea, sendo indicado para o tratamento de pacientes com insuficiência respiratória aguda ou crônica agudizada. Esse suporte é oferecido por intermédio de uma máquina, o ventilador pulmonar mecânico que, intermitentemente, insufla volumes de ar (VC) para as vias respiratórias. Este suporte ventilatório pode ser fornecido de duas formas: através da ventilação mecânica invasiva - VMI (fornecida por intermédio de uma prótese ou tubo traqueal) e da ventilação não invasiva (VNI), fornecida através de uma interface (máscaras, bocais, capacetes e prongas nasais) (III CONSENSO BRASILEIRO DE VENTILAÇÃO MECÂNICA. 2007; INTERNATIONAL CONSENSUS CONFERENCE IN INTENSIVE CARE MEDICINE. 2001; DIRETRIZES BRASILEIRAS DE VENTILAÇÃO MECÂNICA, 2013).

Na respiração espontânea, o ciclo respiratório fisiológico é variável, a depender da atividade diafragmática, que modifica o fluxo, o volume e as pressões nas vias aéreas e nos alvéolos (figura 4). Ao se ofertar ventilação mecânica com pressão positiva, no entanto, existe alteração do padrão respiratório que repercute na mecânica respiratória do paciente, a depender do modo ventilatório utilizado.

Figura 4. Ciclos respiratórios fisiológicos.

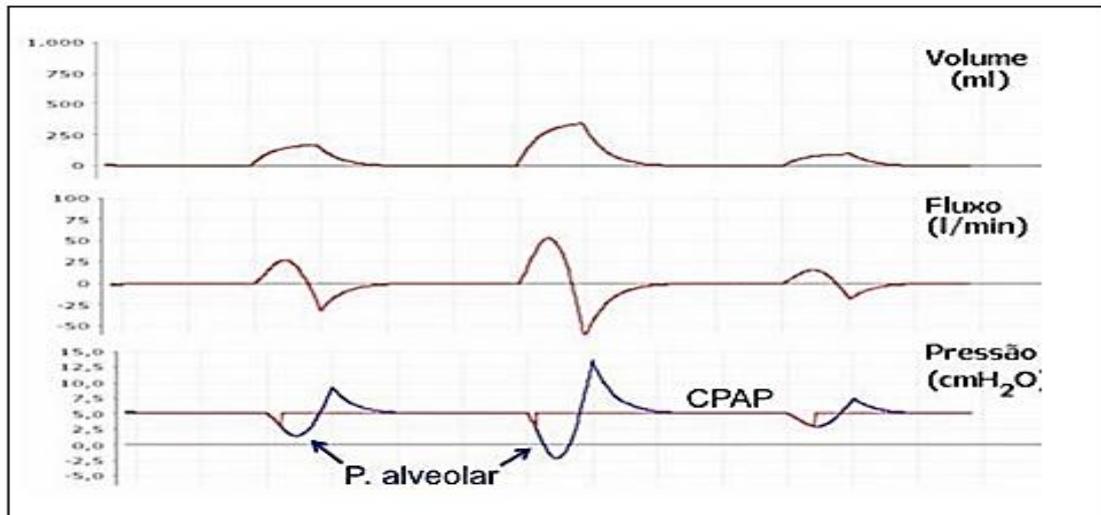


Podemos observar que os ciclos variam com a intensidade e a duração da pressão gerada pelos músculos inspiratórios (Pmus). No gráfico de pressão é observado um declive negativo da pressão alveolar inspiratória (cor azul), esse é caracterizado pela ação dos músculos inspiratórios, aqui chamados de Pmus (HOLANDA, 2013).

A VNI é fornecida habitualmente em dois modos ventilatórios: o CPAP (do inglês, "*continuous positive airway pressure*"), no qual o mesmo nível de pressão positiva é aplicado nas vias aéreas durante a inspiração e a expiração; e o BiPAP (do inglês "*bilevel positive airway pressure*"), em que dois níveis de pressão positiva são aplicados às vias aéreas, uma pressão inspiratória, chamada de IPAP, e uma pressão expiratória, denominada de EPAP. A pressão inspiratória é fornecida com o intuito de favorecer a inspiração, já a pressão expiratória é utilizada para manter os alvéolos e as vias aéreas abertas (III CONSENSO BRASILEIRO DE VENTILAÇÃO MECÂNICA, 2007; INTERNATIONAL CONSENSUS CONFERENCE IN INTENSIVE CARE MEDICINE, 2001; DIRETRIZES BRASILEIRAS DE VENTILAÇÃO MECÂNICA, 2013; HESS, 2013) (figura 5 e 6).

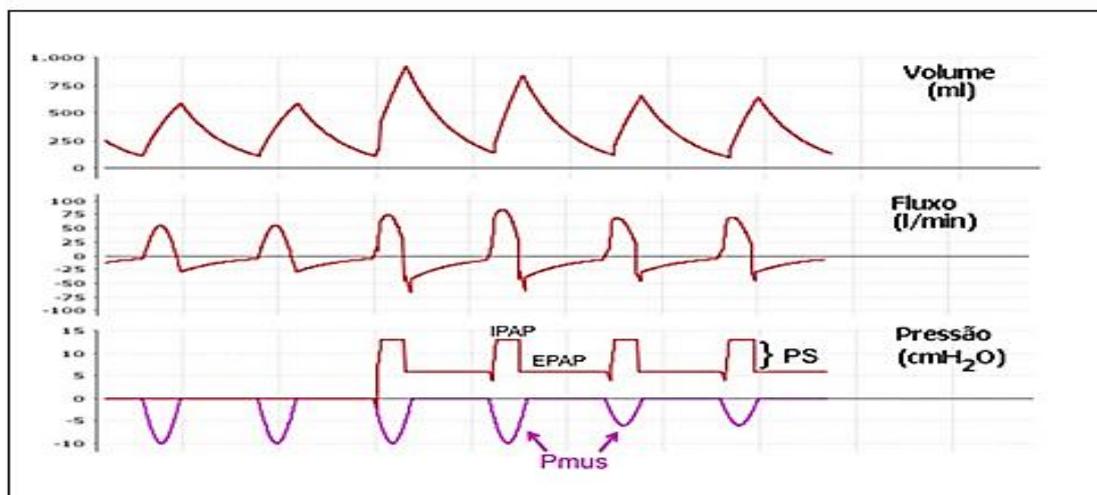
A utilização clínica da VNI é amplamente disseminada no mundo, tendo sua eclosão nos últimos 20 anos, pela difusão dos estudos e benefícios em diversos cenários clínicos (PIERSON, 2009).

Figura 5. Curvas de volume, fluxo e pressão com VNI no modo CPAP.



(HOLANDA, 2013)

Figura 6. Curvas de volume, fluxo e pressão com aplicação da VNI (PS + CPAP).



(HOLANDA, 2013).

A distribuição da ventilação pulmonar é diferente com o paciente sedado e ventilado no modo controlado, em que não há esforço muscular respiratório, em comparação à respiração espontânea. Tal fato ocorre, pois, em respiração espontânea, o diafragma está ativo, fazendo com que a ventilação seja direcionada para a região dependente. Fato contrário acontece quando o diafragma não atua no processo da respiração no modo de ventilação controlada. Nesse caso, a distribuição da ventilação regional é direcionada, em maior proporção, para a região não dependente. Um questionamento, porém, é levantado: será que a distribuição da ventilação pulmonar regional é modificada em relação à respiração espontânea

fisiológica quando se aplica a VNI? (TOBIN, JUBRAN, LAGHI, 2001; MACINTYRE, 2011; PIERSON, 2011).

As repercussões da pressão positiva sobre o parênquima pulmonar têm sido objetos de estudo tanto em cenários clínicos quanto em modelos animais. Os efeitos da VNI resultam em diferentes graus de insuflação pulmonar, repercutindo também na distribuição da ventilação pulmonar regional (HOLANDA et al., 2009; HOLANDA et al., 2010; FELIX et al., 2009; GATTINONE et al., 2006).

Danon et al. (1979) relataram que a ventilação mecânica invasiva controlada induzia um aumento não uniforme da distribuição de gás inspirado em indivíduos com paralisia muscular, decorrente da anestesia. Forense e Bryan (1974) descreveram que a distribuição da ventilação pode mudar preferencialmente para as regiões não dependentes, mesmo quando o volume do pulmão é mantido. Tal situação pode ocorrer não somente na anestesia, mas também em pacientes submetidos à ventilação controlada em outros contextos (REHDER et al., 1972).

1.3.1. Efeitos da VNI no modo CPAP

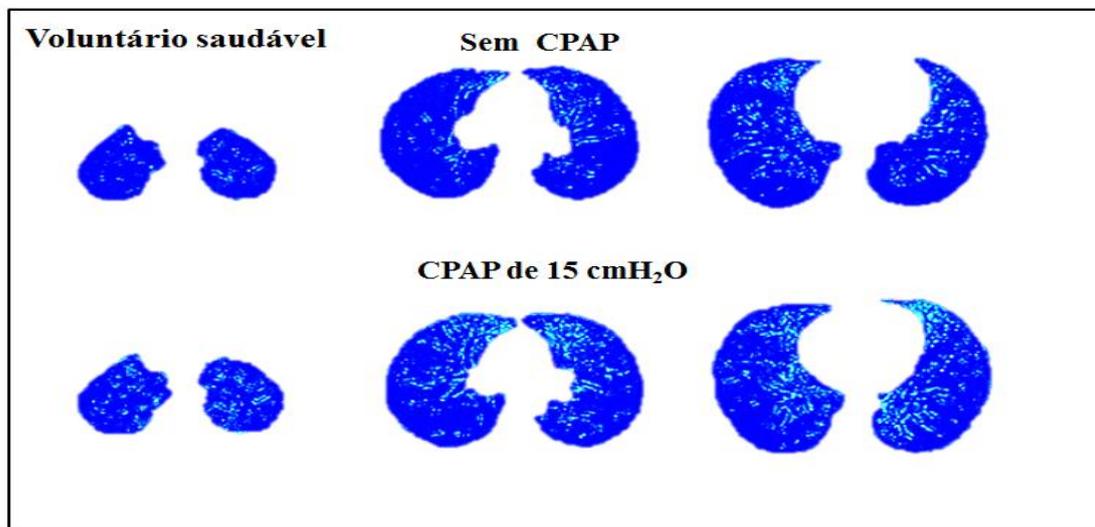
Os efeitos fisiológicos sobre o sistema respiratório da aplicação do modo CPAP na VNI são: abertura das vias aéreas superiores, aumento dos volumes pulmonares, notadamente da CRF, e aumento na pressão intratorácica (HESS, 2013). Por outro lado, o modo CPAP não proporciona descanso da musculatura inspiratória, sendo a ventilação completamente dependente da ação dos músculos respiratórios. O aumento da CRF é heterogêneo e pode resultar em diferentes graus de insuflação pulmonar, ocasionando áreas hipoaeradas, normoaeradas e hiperaeradas em distintas regiões nos pulmões. Vários níveis de aeração também são evidenciados, tanto em ventilação mecânica invasiva quanto em não invasiva (GATTINONI et al., 2006; MICHELET et al., 2005; NIESZKOWWSKA et al., 2004, HOLANDA et al., 2010; HESS, 2013).

Analisando o efeito da PEEP em voluntários no decúbito dorsal com esforço muscular presente, foi demonstrado um direcionamento da ventilação regional para a zona dependente, sugerindo uma diminuição da complacência em áreas não dependentes e/ou aumento nas regiões dependentes. Já na posição prona, a PEEP induz hiperinsuflação nas

regiões inferiores (dorsais) do pulmão, regiões não dependentes (MILIC-EMILI et al., 1966; GLAZIER et al 1967; REHDER et al., 1977, PETERSSON et al., 2010).

Holanda et al. (2010) observaram os efeitos da VNI sobre a aeração pulmonar através da tomografia computadorizada de alta resolução (TCAR) em oito voluntários saudáveis. Foi demonstrado que a VNI no modo CPAP, aplicada por máscara nasal, provocou efeitos variáveis sobre aeração pulmonar regional. A aplicação de CPAP de 10 cmH₂O e 15 cmH₂O promoveu hiperaeração, ainda que em pequeno grau, predominantemente na área ventral ou não dependente dos pulmões (Figura 7).

Figura 7: Efeitos da aplicação do CPAP de 15 cmH₂O em imagens de TCAR.



As imagens de TCAR do ápice, do hilo e base dos pulmões de um voluntário saudável. As zonas mostradas em verde são as regiões hiperaeradas, e as zonas em azul representam o parênquima pulmonar normoaerado (Modificada de Holanda et al., 2010).

A figura 7 demonstra os efeitos do CPAP de 15 cmH₂O sobre a aeração pulmonar evidenciada pela mudança nas cores das imagens do ápice, do hilo e base dos pulmões de um voluntário saudável. Para fins de clareza, as zonas mostradas em verde são as regiões hiperaeradas, e as zonas em azul representam o parênquima pulmonar normoaerado. A VNI em CPAP causou hiperinsuflação localizada na região ventral basal, de maior intensidade no pulmão esquerdo.

A aeração promovida pela aplicação de CPAP pode resultar na abertura de alvéolos colabados ou atelectasiados, melhorando também a relação ventilação- perfusão em pacientes com lesão pulmonar aguda ou SARA leve, por exemplo. O modo CPAP também ocasiona redução do trabalho respiratório e cardíaco, diminuindo a pré- carga do ventrículo

direito e a pós-carga do ventrículo esquerdo e melhorando na complacência pulmonar em pacientes com congestão ou edema pulmonar (INTERNATIONAL CONSENSUS CONFERENCE IN INTENSIVE CARE MEDICINE, 2001; DIRETRIZES BRASILEIRAS DE VENTILAÇÃO MECÂNICA, 2013).

1.3.2. Efeitos da VNI no modo BiPAP

Os efeitos fisiológicos do modo BiPAP ou PS+CPAP são: aumento do volume corrente, redução da frequência respiratória, redução da PaCO_2 , aumento do pH e redução do trabalho respiratório (HESS, 2013).

Chadda et al. (2002) demonstraram recentemente que a modalidade BiPAP é mais eficaz do que o modo CPAP em reduzir o trabalho dos músculos respiratórios. A adição de uma pressão inspiratória ou de suporte, quando comparada ao modo CPAP isoladamente, melhora a função da bomba ventilatória, levando à redução rápida da frequência respiratória e, posteriormente, promove maior redução da PaCO_2 .

Riedel et al. (2005) estudaram a DVPR em dez voluntários saudáveis do sexo masculino, ventilados no modo CPAP (0 e 10 cmH_2O) e no modo pressão de suporte com CPAP (PEEP de 0 a 5 cmH_2O e a pressão de suporte de 5 cmH_2O , correspondendo a uma IPAP de 10 cmH_2O), em quatro posições: supino, prona e laterais, direito e esquerdo. As regiões pulmonares dependentes foram sempre mais ventiladas, mesmo com a mudança de posição do corpo e acréscimo da pressão de suporte, com excessão do DV, que direcionou a ventilação para região não dependente. O volume corrente não foi alterado de modo significativo com a implementação da pressão de suporte, com ou sem PEEP. Este estudo tem o mérito de ser um dos pioneiros no emprego da TIE na avaliação da DVPR durante a VNI. Por outro lado uma limitação do estudo consiste no baixo nível de IPAP utilizado, pouco usado no dia-a-dia da prática clínica. Uma confirmação dos seus resultados é importante ante ao fato da aplicação da VNI manter a DVPR à semelhança da respiração espontânea.

Ao se comparar os efeitos da ventilação invasiva (no modo controlado) e da não invasiva sobre a distribuição da ventilação pulmonar regional, pode-se evidenciar que existe divergência quanto às zonas pulmonares mais ventiladas. É possível concluir, com base na revisão da literatura, que as áreas mais ventiladas são as regiões não dependentes na ventilação invasiva no modo controlado. Já na VNI, o pulmão dependente parece ser o mais

ventilado. A contração diafragmática parece atuar nessa divergência, porém ainda não existe um consenso acerca dos efeitos da VMI e da VNI sobre a distribuição da ventilação pulmonar regional. São necessários mais estudos que possam averiguar tal divergência. (BEIN et al., 2010; CHEVROLET et al., 1979; ROUSSOS et al., 1976a; ROUSSOS et al., 1977b).

1.4. A TIE como ferramenta de avaliação da ventilação pulmonar regional

Apesar da tomografia de impedância elétrica (TIE) ter sido descrita há aproximadamente 30 anos, a utilização e a viabilização deste método ocorreu somente após os avanços e desenvolvimentos tecnológicos recentes (FRERICHS, 2000; COSTA; LIMA; AMATO, 2009).

O termo impedância descreve a resistência à propagação de ondas em um meio. Em se tratando de um meio formado de tecido biológico, o nome passa a ser bioimpedância. Assim, a bioimpedância elétrica é a medida da resistência de um tecido biológico à passagem de uma corrente elétrica variável no tempo (FRERICHS, 2010).

Esta técnica converte o sinal da resistência elétrica imposta pela mudança da impedância na inspiração e expiração em imagens bidimensionais por meio de frequências distintas no impulso elétrico, permitindo que a técnica seja aplicada para mensurar formatos e volumes de tecidos corporais, com aplicações clínicas importantes, incluindo a avaliação da ventilação e perfusão pulmonares (BAYFORD, 2006; PUTENSEN; WRIGGE; ZINSERLING, 2007; COSTA; LIMA; AMATO, 2009).

A TIE vem ganhando espaço, por ser um método não invasivo, seguro (pois não utiliza radiação) e relativamente portátil (podendo ser usado à beira do leito). Embora ainda não possua a resolução das imagens de uma tomografia convencional, a impedanciometria possui a vantagem de ser um exame dinâmico, possibilitando a avaliação funcional regional dos fenômenos estudados (PUTENSEN; WRIGGE; ZINSERLING, 2007; COSTA et al., 2008; LIMA et al., 2006; FRERICHS et al., 2000).

Essas características permitem que a técnica seja extensivamente explorada para detectar os efeitos de diversas doenças sobre a distribuição da ventilação pulmonar regional, tais como em pacientes com lesão pulmonar aguda, carcinoma brônquico, edema pulmonar, pneumotórax, enfisema pulmonar, hiperinsuflação dinâmica e o posicionamento do tubo

traqueal (REIFFERSCHIED et al., 2011; FRERICHS et al., 2006; VICTORINO et al., 2004; FRERICHS et al., 2000). Publicamos um caso em que se empregou a TIE para avaliar a distribuição da ventilação pulmonar regional em paciente com estenose brônquica esquerda pós-tuberculose. Neste estudo, a cintilografia de perfusão e ventilação mostrou o fluxo sanguíneo e a ventilação direcionados para o pulmão direito (68%) e a TC de tórax confirmou a estenose brônquica à esquerda. Já a TIE conseguiu demonstrar de forma dinâmica a heterogeneidade da DVPR e a abertura de estenose do brônquio fonte esquerdo pela ação de CPAP (MARINHO et al., 2013) (vídeo http://www.jornaldepneumologia.com.br/detalheartigopre_visualizar.asp?id=2236).

Já Reifferscheid et al. (2011) estudaram dez indivíduos saudáveis, analisando a distribuição da ventilação através da TIE, com indivíduos em respiração espontânea nas posições sentada, dorsal e lateral direita. Obtiveram como resultado que a postura exerceu efeito significativo do aumento do volume corrente sobre distribuição de ventilação entre os quadrantes do tórax durante a respiração espontânea.

A TIE é portanto considerada uma técnica de imagem promissora que permite analisar a ventilação pulmonar regional e sua relação com a interação da ventilação com pressão positiva e mudanças de decúbitos. Porém, os estudos encontrados na literatura, que abordam a interação pressão positiva e mudança de decúbito ainda são escassos.

1.5 Perguntas de partida

Quais os impactos da aplicação de respiração com pressão positiva de modo não invasivo (nos modos CPAP e BiPAP) e das mudanças de decúbitos na distribuição da ventilação pulmonar regional em adultos jovens saudáveis?

1.6 Hipóteses

A administração de VNI pode alterar a distribuição regional da ventilação pulmonar de forma variável, a depender do modo utilizado, CPAP ou BiPAP, e dos efeitos gravitacionais relacionados à posição (decúbitos) do paciente. É provável que a TIE seja capaz de demonstrar estas alterações, contribuindo para melhor compreensão dos efeitos da VNI e de mudanças de decúbito sobre a ventilação pulmonar regional.

1.7. Justificativa

A VNI é empregada nos pacientes com o intuito de otimizar a ventilação alveolar, porém os estudos não são claros sobre seus efeitos combinados às mudanças de decúbitos, procedimento essencial no tratamento de pacientes em insuficiência respiratória. A análise da ventilação pulmonar regional dinâmica, de forma não invasiva, pelo uso da TIE, pode abrir perspectivas para o estudo dos mecanismos fisiológicos envolvidos neste contexto. Além disso, poderá facilitar a avaliação do impacto de diferentes intervenções terapêuticas, especificamente dirigidas para tal, como a própria aplicação de suporte ventilatório não invasivo (VNI), as diferenças entre os modos, CPAP ou BiPAP, e os efeitos das mudanças de decúbitos e a combinação destes.

Estudos que avaliem os efeitos fisiológicos de mudanças de decúbitos são necessários, ainda que seja para confirmar conhecimentos clássicos da fisiologia respiratória, mas agora usando novas tecnologias de suporte ventilatório e de avaliação funcional por imagem, como ora se apresenta a TIE.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar os efeitos agudos da VNI e de mudanças de decúbitos, e a combinação dos dois, sobre a distribuição da ventilação pulmonar regional (DVPR), em voluntários jovens adultos saudáveis, através de análise de imagens obtidas por tomografia de impedância elétrica.

2.2 Objetivos Específicos

- Comparar os efeitos dos modos de VNI, CPAP e BiPAP, sobre a distribuição da ventilação pulmonar regional (DVPR), entre si e em relação à respiração espontânea.
- Descrever os efeitos da interação da VNI (CPAP e BiPAP) com mudanças de decúbitos sobre a DVPR.
- Analisar os efeitos das mudanças de decúbitos e da aplicação da VNI sobre variáveis fisiológicas cardiorrespiratórias de uso corrente à beira-do-leito.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo reuniu características de natureza quantitativa, do tipo aplicado, experimental, exploratório e descritivo. Foi realizado no Laboratório da Respiração (RESPLAB) do Departamento de Medicina Clínica da Universidade Federal do Ceará (UFC), sendo aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital, (protocolo 095.95.10) do Hospital Universitário Walter Cantídio da UFC, seguindo os preceitos legais de ética em pesquisa.

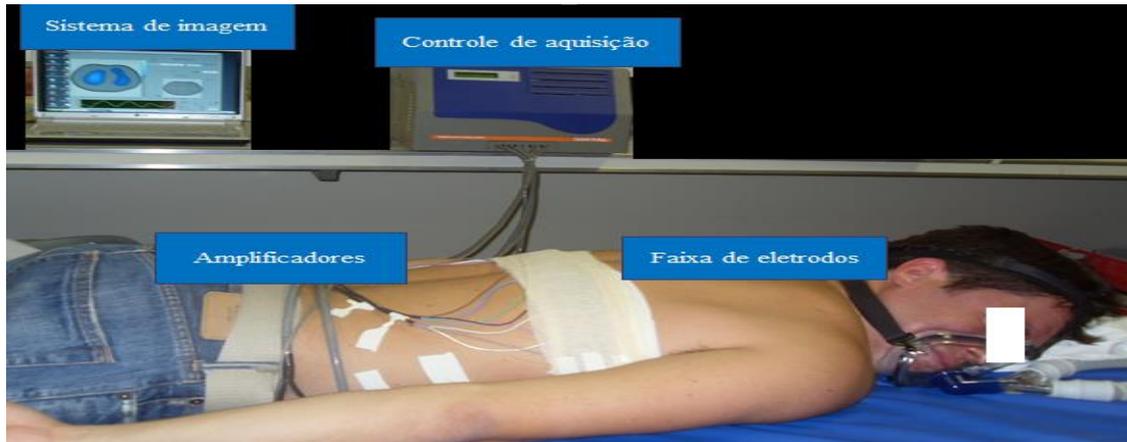
3.1 Pacientes

O protocolo foi realizado em dez indivíduos saudáveis, por amostra de conveniência, com faixa etária de 18 e 30 anos, não fumantes, com padrão de normalidade da função pulmonar, verificado por espirometria. Os critérios de exclusão foram: história pregressa de pneumopatia, cardiopatias, doenças neoplásicas, *Diabetes Mellitus*, hipertensão descompensada ou tabagismo, assim como recusa na assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNDICE A).

3.2. Tomografia de Impedância Elétrica

Foram posicionados 32 eletrodos na margem de 2 cm acima da linha mamária no tórax e conectados ao tomógrafo de impedância elétrica, DX 1800 (Dixtal®, Manaus, Brasil), utilizando uma injeção de corrente de alta frequência (> 10 KHz) e baixa amplitude (< 12 mA), com frequência de aquisição de 50 Hz, capaz de realizar reconstrução de imagens dos pulmões de forma dinâmica, com resolução temporal a cada 0,02 segundo (VICTORINO, et al. 2004; BODENSTEIN, DAVID, MARKSTALLER, 2009).

Figura 8: Montagem do experimento.

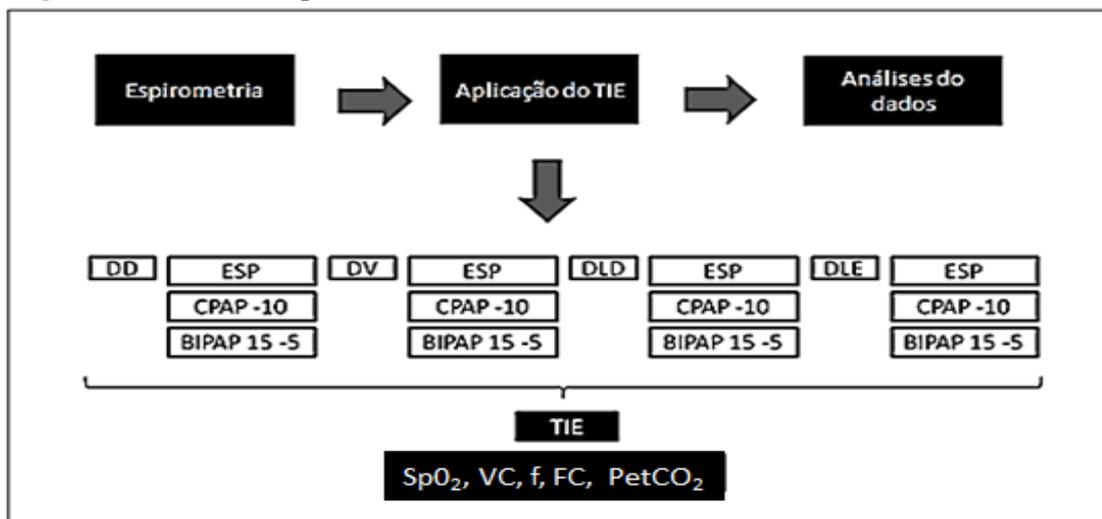


Voluntário na posição prona em VNI.

3.3. Protocolo do estudo

A TIE foi utilizada para avaliar a ventilação pulmonar regional em três modalidades respiratórias: respiração espontânea (RE), CPAP (10 cmH₂O) e BiPAP (IPAP 15 cmH₂O e EPAP 5 cmH₂O, equivalendo a uma PS de 10 cmH₂O), em diferentes decúbitos (dorsal (DD), ventral (DV), lateral direito (DLD) e lateral esquerdo (DLE), em sequência randomizada (figura 9).

Figura 9: Desenho esquemático do estudo.



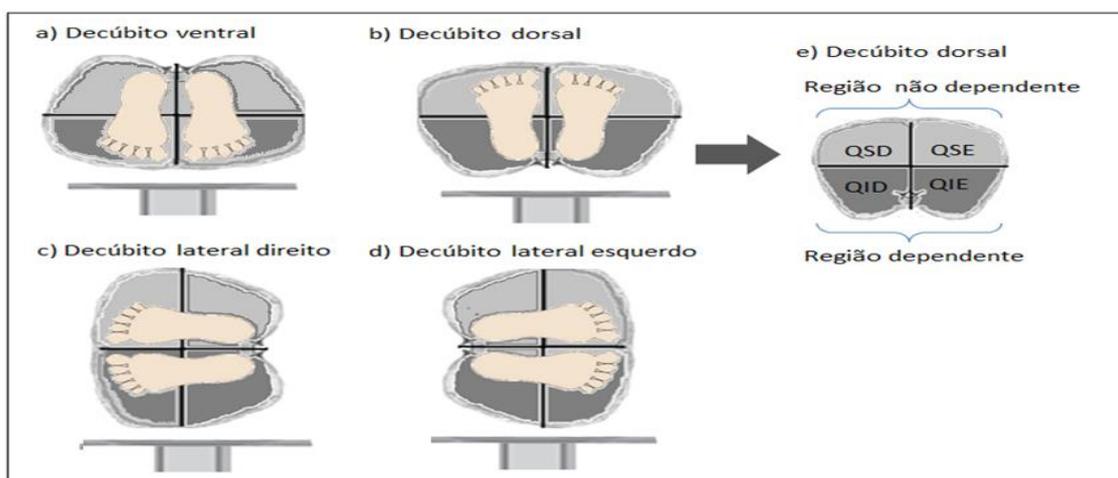
DD= Decúbito dorsal, DV= Decúbito ventral, DLD= Decúbito Lateral direito, DLE= Decúbito lateral esquerdo, PetCO₂ = Pressão expiratória final expiratória de dióxido de carbono, f= frequência respiratória, FC= frequência cardíaca, VC= volume corrente, VE= Volume minuto.

A cada variação de decúbito e modalidade ventilatória foram avaliados os seguintes parâmetros: frequência respiratória (f), frequência cardíaca (FC), volume corrente

(VC), volume minuto (VE), saturação periférica de oxigênio (SpO_2) e a pressão de dióxido de carbono ao final da expiração ($PetCO_2$) associados à aquisição da imagem de TIE por dez minutos, sendo registrados e gravados os dois minutos finais (figura 10). Essas variáveis foram obtidas através do monitor Dixtal 2020® acoplado com o sensor de pneumotacógrafo e capnógrafo (utilizado o modo invasivo acoplado ao circuito do ventilador Esprit® (Philips/Respironics, Murrysville, EUA) e o modo não invasivo posicionado no nariz do paciente). O volume corrente foi extraído em respiração espontânea através do monitor Dixtal 2020. O ventilador Esprit® foi o utilizado na aplicação da VNI, sendo calibrado antes de cada experimento. Foi utilizada a função VNI e os modos foram ajustados respeitando-se os parâmetros de CPAP de 10 cmH_2O , e BiPAP, com IPAP de 15 cmH_2O e EPAP de 5 cmH_2O . Não foi utilizado sistema de umidificação. A interface utilizada para aplicação da VNI foi a máscara facial (PerforMax®/Philips/Respironics, Murrysville, EUA) ajustada para tolerar um vazamento máximo de até 6 L/min. Estabeleceu-se um período de *washout* de dez minutos em respiração espontânea entre cada variação de decúbito e de modalidade ventilatória.

Em *off-line* foi estudado o mapa funcional EIT Analysis Tools Beta 7.4.32 sendo realizada a leitura dos valores de variação da impedância elétrica do tórax utilizando a soma de cada pixel, onde foi selecionado quatro regiões de interesse (Regions of Interest, ou ROIs), quatro quadrantes (superior direito (QSD), inferior direito (QID), superior esquerdo (QSE) e inferior esquerdo (QIE)), determinando-se a variação da impedância, chamado de delta Z (ΔZ), associada a medida dos outros parâmetros fisiológicos estudados (figura 10).

Figura 10: Desenho esquemático dos decúbitos.



Desenho esquemático dos decúbitos e sua relação com os quadrantes do tórax a serem analisados pela imagem obtida pela TIE: a) decúbito ventral, b) decúbito dorsal, c) decúbito lateral direito, d) decúbito lateral esquerdo e e) decúbito dorsal especificando os quadrantes pulmonares: QSD: quadrante superior direito, QSE: quadrante superior esquerdo, QID: quadrante inferior direito e QIE; quadrante inferior esquerdo, assim como as regiões dependentes nos QID e QIE e as regiões não dependentes nos QSD e QSE.

Na análise da distribuição da ventilação pulmonar regional, a região em contato com a cama é a dependente, e ela muda de acordo com o decúbito adotado: no decúbito dorsal, a região dependente é a região inferior identificada pelos quadrantes inferiores direito e esquerdo, já no decúbito ventral, é a região anterior do tórax, visualizada pelos quadrantes superiores direito e esquerdo, enquanto que no decúbito lateral direito, é o pulmão direito, evidenciado pelos quadrantes superior e inferior direitos, já no decúbito lateral esquerdo, o pulmão esquerdo é o dependente, sendo representado nos quadrantes superior e inferior esquerdos.

3.4. Análise estatística

Inicialmente foi aplicado o teste de Skewness e Kurtosis para avaliar se as variáveis apresentavam um padrão de normalidade.

Foi realizada uma análise de variância (ANOVA) para medidas repetidas com intuito de avaliar o efeito do decúbito sobre a ventilação pulmonar regional nas modalidades respiração espontânea, CPAP e BiPAP. Quando houve violação da esfericidade foi utilizado o teste de Greenhouse-Geisser ou Hunnh-Feidt. Adicionalmente, foi realizada uma comparação par a par (ANOVA) entre as mudanças de decúbito.

Posteriormente, a análise de variância (ANOVA) para medidas repetidas foi efetuada para avaliar o efeito da modalidade respiratória sobre a distribuição percentual da ventilação pulmonar regional nos quatro quadrantes do tórax. Por último, foi observado o efeito do decúbito sobre outras variáveis fisiológicas na situação de respiração espontânea, e durante a VNI nos modos CPAP e BiPAP, respectivamente, sendo utilizado o programa SPSS (versão 21, SPSS Inc, Chicago, IL, USA) com nível de significância definido com um valor de $p < 0,05$.

A análise se deu, também, de forma descritiva e os resultados foram expostos por meio de mediana e percentil 25% e 75% para a distribuição da ventilação pulmonar regional, e em média e desvio padrão para as variáveis fisiológicas. A apresentação ocorreu em forma de gráficos e tabelas.

4. RESULTADOS

O protocolo foi aplicado em 22 voluntários sadios. Os 12 primeiros ensaios com 12 voluntários foram utilizados apenas para padronização da técnica e treinamento da equipe de pesquisadores visando à otimização do protocolo, correção de erros na aquisição e análise das imagens de TIE e das outras variáveis. Além disso, entre esses 12 indivíduos, quatro se apresentavam sadios relatando não terem doenças pulmonares prévias, porém exibiam padrões de anormalidades na função pulmonar verificados pela espirometria, não sendo incluídos na amostra. Foram incluídos nesse estudo, dez indivíduos saudáveis (cinco homens), com idade média de $25 \pm 3,8$ anos e IMC de $22 \pm 2,7$ kg/m², com função pulmonar normal evidenciada pela espirometria (tabela 1).

Tabela 1: Dados antropométricos e espirométricos dos voluntários jovens saudáveis.

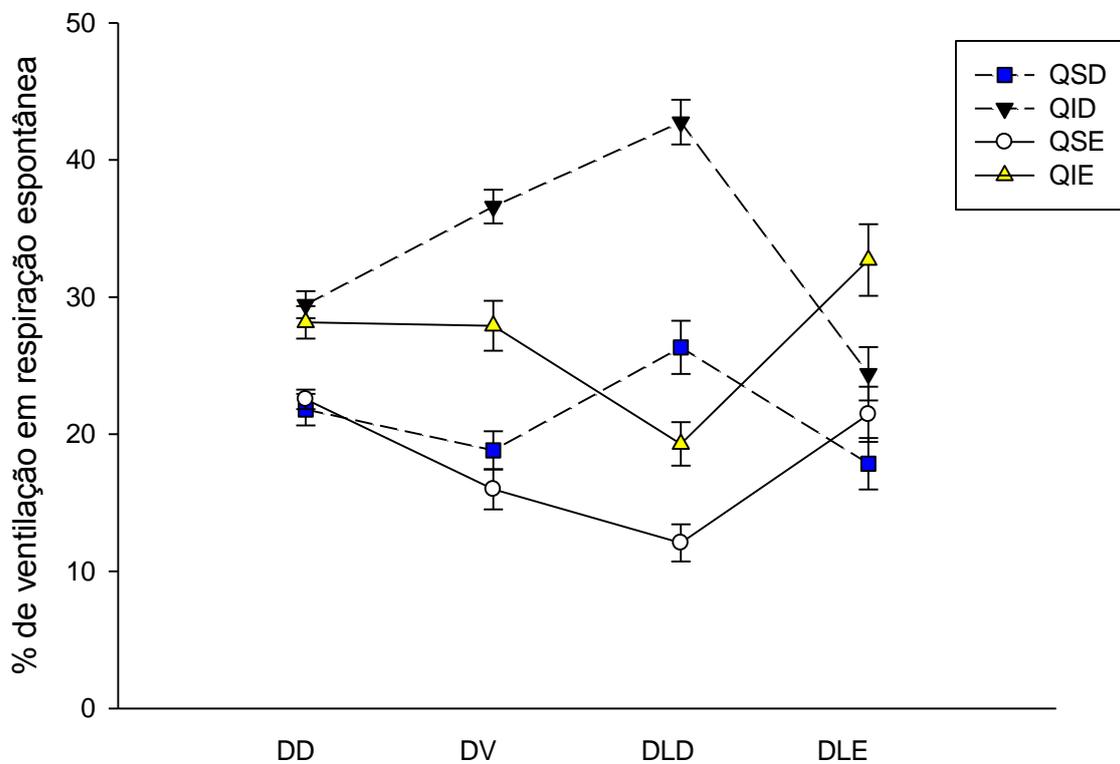
Voluntário	Idade (anos)	Peso (kg)	Altura (m)	IMC (kg/m ²)	Gênero	CVF %	VEF ₁ %	VEF ₁ /CVF %
1	25	56	1,61	21,6	F	105%	102%	96%
2	26	57	1,6	22,3	F	93%	86%	91%
3	28	77	1,74	25,4	M	87%	85%	93%
4	26	73	1,79	22,8	M	102%	105%	102%
5	24	60	1,65	22,0	F	89%	86%	95%
6	25	64	1,55	26,6	F	132%	128%	103%
7	30	85	1,79	26,5	M	96%	89%	92%
8	22	65	1,73	21,7	M	94%	100%	102%
9	24	84	1,83	25,1	M	95%	92%	95%
10	26	54	1,45	25,5	F	98%	99%	101%

* IMC= índice de massa corpórea, CVF = capacidade vital forçada, VEF₁ = volume expiratório forçado no primeiro segundo.

4.1. Distribuição da ventilação pulmonar regional em respiração espontânea

No gráfico 1, podemos observar a distribuição proporcional da ventilação pulmonar regional em respiração espontânea, nos decúbitos: dorsal, ventral, lateral direito e lateral esquerdo.

Gráfico 1: Distribuição do percentual de ventilação pulmonar regional por quadrante em respiração espontânea.



Resultados expressos em mediana e desvio padrão. DD = decúbito dorsal, DV = decúbito ventral, DLD = decúbito lateral direito, DLE = decúbito lateral esquerdo, % QSD = percentual do quadrante superior direito, % QID = percentual do quadrante inferior direito, % QSE = percentual do quadrante superior esquerdo e % QIE = percentual do quadrante inferior esquerdo.

A tabela 2 demonstra a distribuição da ventilação pulmonar regional nos quatro quadrantes do tórax durante a respiração espontânea de acordo com o decúbito dos voluntários.

Tabela 2: Percentual da distribuição da ventilação pulmonar regional nos quatro quadrantes do tórax durante a respiração espontânea de acordo com o decúbito dos voluntários (n=10).

	DD	DV	DLD	DLE
QSD %	22 (19- 24)	19 (15-23)	26 (24-31) †	18 (13-22)
QID %	30 (26-32)	37 (32-40)*	43 (38-45) +	24 (23-26) † ‡
QSE %	22 (21-24)	16 (12-10)*	12 (7-14) +	21 (17-28) † ‡
QIE %	29 (22-30)	28 (26-34)	19 (17-26) †	33 (30-42) † #

Resultados expressos em mediana e 25%-75% percentis. DD= decúbito dorsal, DV= decúbito ventral, DLD= decúbito lateral direito, DLE= decúbito lateral esquerdo, QSD= quadrante superior direito, QID= quadrante inferior direito, QSE=quadrante superior esquerdo e QIE= quadrante inferior esquerdo.

* p<0,05 DD x DV; + p<0,05 DD vs DLD;# p<0,05 DD vs DLE; † p<0,05 DV vs DLD; ‡ p<0,05 DV vs DLE; † p<0,05 DLD vs DLE.

4.1.1. Decúbito dorsal – respiração espontânea

No decúbito dorsal ocorreu maior ventilação para a região dependente, situada nos QID e QIE, quando comparada à região não dependente, localizada nos QSD e QSE (gráfico 1 e tabela 2).

4.1.2. Decúbitos laterais – respiração espontânea

O mesmo comportamento do decúbito dorsal é também visualizado nos decúbitos laterais direito e esquerdo, com maior ventilação para o pulmão dependente: no decúbito lateral direito, nos QSD e QID, ou seja, no pulmão direito; e no lateral esquerdo, nos QSE e QIE, ou seja, no pulmão esquerdo, sendo essa diferença de distribuição mais acentuada no decúbito lateral direito (gráfico 1 e tabela 2).

4.1.3. Decúbito ventral – respiração espontânea

No decúbito ventral a ventilação é direcionada para a região não dependente, situada nos QID e QIE, comparando-se à região dependente, neste caso, os quadrantes superiores. Ou seja, a ventilação foi direcionada ainda mais para a região dorsal dos pulmões, que neste decúbito fica em zona não dependente (gráfico 1 e tabela 2).

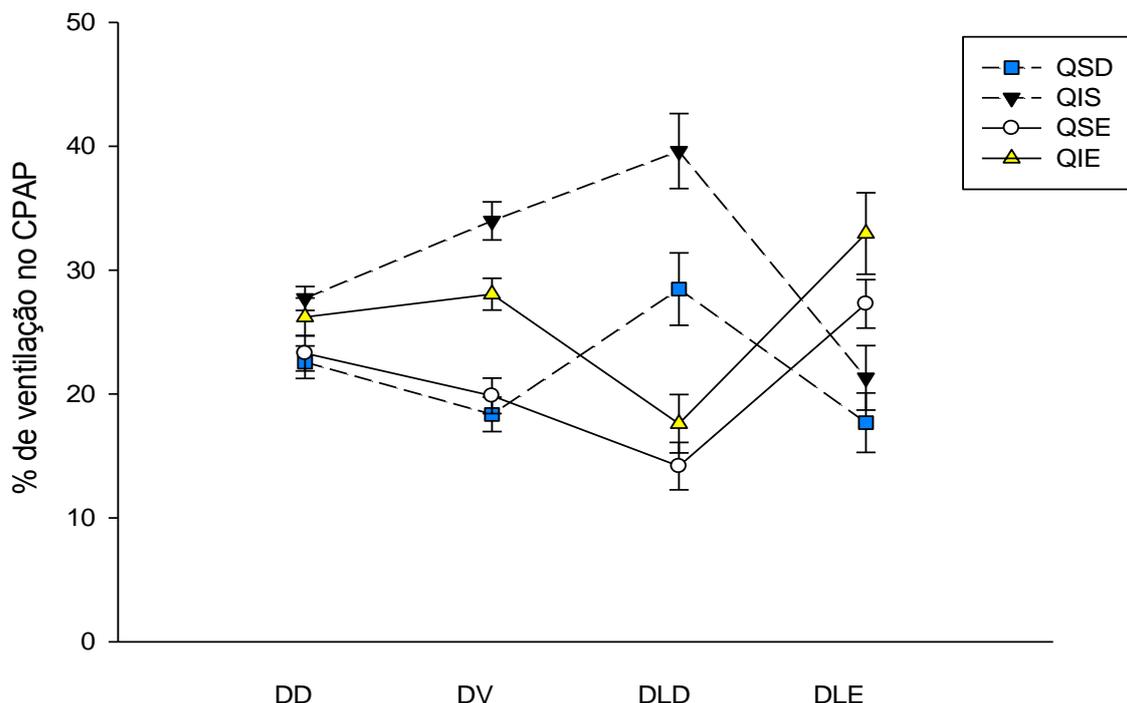
4.1.4 Comparações entre os decúbitos

A análise da distribuição da ventilação pulmonar regional nos quatro quadrantes em respiração espontânea mostrou que a variação de decúbitos altera a distribuição da ventilação, mostrando diferença estatisticamente significativa entre decúbitos em pelo menos um dos quadrantes (tabela 2).

4.2. Distribuição da ventilação pulmonar regional com VNI no modo CPAP

O gráfico 2 apresenta o percentual de ventilação pulmonar regional por quadrante em ventilação não invasiva no modo CPAP e nos quatro quadrantes.

Gráfico 2: Percentual de ventilação pulmonar regional por quadrante em VNI, modo CPAP.



Resultados expressos em mediana e desvio padrão. DD = decúbito dorsal, DV = decúbito ventral, DLD = decúbito lateral direito, DLE = decúbito lateral esquerdo, % QSD = percentual do quadrante superior direito, % QID = percentual do quadrante inferior direito, % QSE = percentual do quadrante superior esquerdo e % QIE = percentual do quadrante inferior esquerdo.

Na tabela 3, encontra-se a distribuição da ventilação pulmonar regional nos quatro quadrantes durante a VNI, modo CPAP, de acordo com os decúbitos dos voluntários.

Tabela 3: Percentual da distribuição da ventilação pulmonar regional nos quatro quadrantes durante a VNI, modo CPAP, de acordo com os decúbitos dos voluntários (n=10).

	DD	DV	DLD	DLE
QSD	23 (21-28)	18(13-21)*	28 (22-34) †	18 (7-20)
QID	28 (25-31)	34 (29-37)	40 (32-47) +	21 (7-27) † ‡
QSE	23 (18-26)	20 (15-23)	14 (10-20) +	27 (24-33) † ‡
QIE	26 (23-30)	28 (27-36)	18 (12-23) +	33(28-39) † ‡

Resultados expressos em mediana e percentil. DD= Decúbito dorsal, DV= Decúbito ventral, DLD= Decúbito Lateral direito, DLE= Decúbito lateral esquerdo, %QSD= percentual do quadrante superior direito, %QID= percentual do quadrante inferior direito, %QSE= percentual do quadrante superior esquerdo e %QIE= percentual do quadrante inferior esquerdo.

Diferença estatística levando em consideração a modalidade respiratória mudando apenas os decúbitos.

* $p < 0,05$ DD x DV; + $p < 0,05$ DD vs DLD; † $p < 0,05$ DV vs DLD; ‡ $p < 0,05$ DV vs DLE; † ‡ $p < 0,05$ DLD vs DLE.

4.2.1. Decúbito dorsal – modo CPAP

No decúbito dorsal, a ventilação se distribuiu, assim como na respiração espontânea, para a região dependente, predominando nos QID e QIE, quando comparados à região não dependente, QSD e QSE (gráfico 2 e tabela 3).

4.2.2. Decúbitos laterais – modo CPAP

O mesmo comportamento visto no decúbito dorsal foi visualizado nos decúbitos laterais direito e esquerdo, com maior distribuição da ventilação para o pulmão dependente. Assim no DLD, os QSD e QID foram mais ventilados do que os seus correspondentes do lado esquerdo. Do mesmo modo, no DLE, os QSE e QIE foram mais ventilados do que os quadrantes do pulmão direito, sendo essa diferença de distribuição mais acentuada no decúbito lateral direito (gráfico 2 e tabela 3).

4.2.3. Decúbito ventral – modo CPAP

Neste decúbito a ventilação foi direcionada para a região não dependente, situada nos QID e QIE, em relação à região dependente, nos QSD e QSE (gráfico 2 e tabela 3).

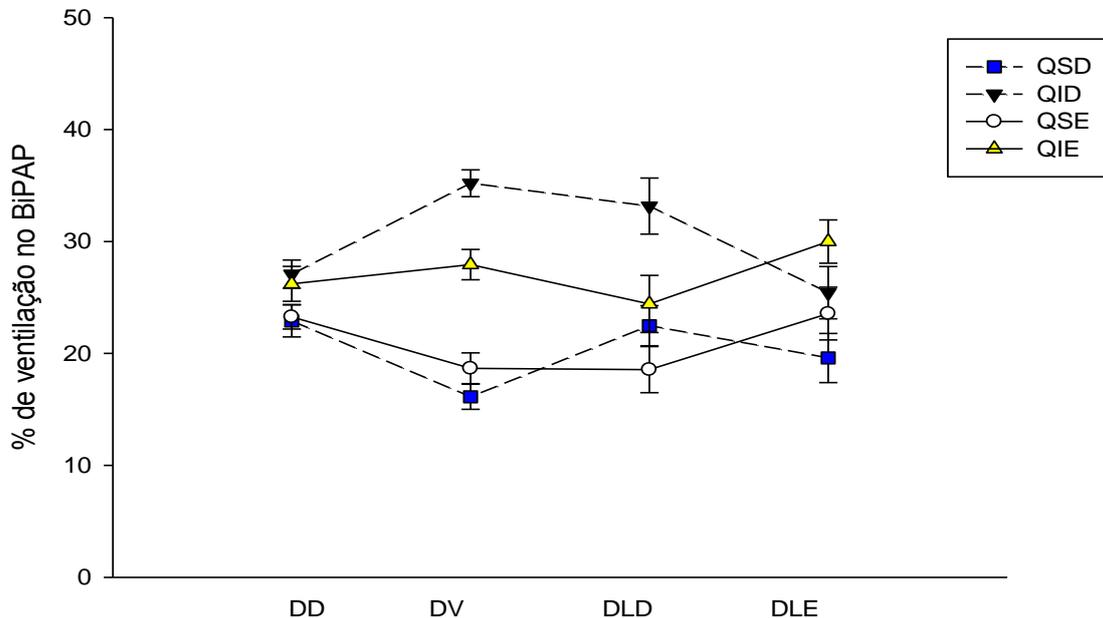
4.2.4 Comparações entre os decúbitos

A análise da distribuição da ventilação pulmonar regional nos quatro quadrantes em VNI no modo CPAP mostrou que variação de decúbito altera a distribuição da ventilação, apresentando diferença estatística com $p < 0,05$ (tabela 3).

4.3 Análises da distribuição da ventilação pulmonar regional com VNI no modo BiPAP.

No gráfico 3, nota-se a distribuição do percentual de ventilação pulmonar regional por quadrante no modo BiPAP nos quatros decúbitos:

Gráfico 3: Distribuição do percentual de ventilação pulmonar regional por quadrante durante a VNI, modo BiPAP.



Resultados expressos em mediana e desvio padrão. DD = decúbito dorsal, DV = decúbito ventral, DLD = decúbito lateral direito, DLE = decúbito lateral esquerdo, % QSD = percentual do quadrante superior direito, % QID = percentual do quadrante inferior direito, % QSE = percentual do quadrante superior esquerdo e % QIE = percentual do quadrante inferior esquerdo.

A tabela 4 mostra a distribuição da ventilação pulmonar regional nos quatro quadrantes durante a VNI no modo BiPAP, de acordo com os decúbitos dos voluntários (n=10)

Tabela 4: Percentual da distribuição da ventilação pulmonar regional nos quatro quadrantes durante a VNI no modo BiPAP (n=10).

	DD	DV	DLD	DLE
QSD	23 (21-24)	16 (14-19)*	22 (19-25)	20 (13-24)
QID	27 (25-31)	35 (33-39)*	33 (29-36)	26 (22-30) †
QSE	23 (20-27)	19 (14-22)	18 (16-21)	24 (19-28)
QIE	26 (24-36)	30 (27-31)	24 (22-31)	30 (28-41)

Resultados expressos em mediana e percentil. DD= Decúbito dorsal, DV= Decúbito ventral, DLD= Decúbito Lateral direito, DLE= Decúbito lateral esquerdo, %QSD= percentual do quadrante superior direito, %QID= percentual do quadrante inferior direito, %QSE= percentual do quadrante superior esquerdo e %QIE= percentual do quadrante inferior esquerdo.

*Diferença estatística levando em consideração a modalidade respiratória mudando apenas os decúbitos.

* p<0,05 DD x DV; † p<0,05 DV vs DLE.

4.3.1 Decúbito dorsal – BiPAP

Assim como na respiração espontânea e no modo CPAP, a ventilação foi distribuída para a região dependente nos QID e QIE, quando comparada à região não dependente, QSD e QSE.

4.3.2 Decúbitos laterais – BiPAP

No DLD, os QID e QIE foram mais ventilados do que os seus correspondentes superiores. Ainda assim, somados os percentuais de cada pulmão, o direito foi mais ventilado do que o esquerdo. No DLE, os QSE e QIE foram mais ventilados do que os quadrantes do pulmão direito.

4.3.3. Decúbito ventral – modo BiPAP

Neste decúbito, a ventilação foi direcionada à região dependente, nos QID e QSE em comparação aos QSD e QIE (tabela 3).

4.3.4 Comparações entre os decúbitos

A análise da distribuição da ventilação pulmonar regional nos quatro quadrantes em VNI no modo BiPAP mostrou que variação de decúbito altera a distribuição da ventilação, apresentando diferença estatística com o $p < 0,05$ (tabela 3).

4.4 Análise da distribuição da ventilação pulmonar regional durante a VNI comparada à respiração espontânea

A tabela 5 apresenta a distribuição da ventilação pulmonar regional nos quatro quadrantes e nas três modalidades respiratórias, nos quatro decúbitos.

Tabela 5: Análise da distribuição da ventilação pulmonar regional nos quatro quadrantes em respiração espontânea e durante a VNI, nos modos CPAP e BiPAP, nos quatro decúbitos dos voluntários (n=10).

Decúbitos	Quadrante (%)	Respiração Espontânea	VNI CPAP	VNI BiPAP
Dorsal	QSD	22 (19-24)	23 (21-28)	23 (21-24)
	QID	30 (26-32)	28 (25-31)	27 (25-31)
	QSE	22 (21-24)	23 (18-26)	23 (20-27)
	QIE	29 (22-30)	26 (23-30)	26 (24-36)
Ventral	QSD	19 (15-23)	18 (13-21)	16 (14-19)
	QID	37 (32-40)	34 (29-37)	35 (33-39)
	QSE	16 (12-10)	20 (15-23) *	19 (14-22) +
	QIE	28 (26-34)	28 (27-36)	30 (27-31)
Lateral direito	QSD	26 (24-31)	28 (22-34)	22 (19-25)
	QID	43 (38-45)	40 (32-47)	33 (29-36) +
	QSE	12 (07-14)	14 (10-20)	18 (16-21) +
	QIE	19 (17-26)	18 (12-23)	24 (22-31) #
Lateral esquerdo	QSD	18 (13-22)	18 (7-20)	20 (13-24)
	QID	24 (23-26)	21 (7-27)	26 (22-30)
	QSE	21 (17-28)	27 (24-33) *	24 (19-28) #
	QIE	33 (30-42)	33 (28-39)	30 (28-41)

• Diferença estatística entre as modalidades respiratórias em cada um dos decúbitos

* $p < 0,05$ ESP vs CPAP ; + $P < 0,05$ ESP vs BiPAP; # $p < 0,05$ CPAP vs BiPAP

4.4.1 Decúbito dorsal

A pressão positiva não alterou significativamente a distribuição da ventilação nesse decúbito, mantendo uma maior proporção de ventilação para a região dependente, nos QID e QIE, quando comparada à não dependente, QSD e QSE.

4.4.2 Decúbitos laterais

Durante a VNI no modo CPAP, a distribuição da ventilação se mostrou similar ao observado durante a respiração espontânea nos dois decúbitos laterais. Durante a VNI no modo BiPAP, no DLD, os QID e QIE foram mais ventilados do que os seus correspondentes superiores. No DLE, os QSE e QIE foram mais ventilados do que os quadrantes do pulmão direito. O BiPAP gerou uma maior ventilação para a zona pulmonar não dependente em relação à respiração espontânea e à VNI no modo CPAP

4.4.3. Decúbito ventral

Neste decúbito a VNI modo CPAP dirigiu uma maior fração da ventilação para o QSE (o mesmo ocorrendo com o modo BiPAP).

4.5. Variáveis fisiológicas cardiorrespiratórias

A tabela 6 apresenta as variáveis fisiológicas cardiorrespiratórias que foram estudadas de acordo com as modalidades respiratórias e os decúbitos.

Tabela 6: Os resultados da análise das variáveis nas três modalidades respiratórias nos quatro decúbitos em voluntários jovens saudáveis.

Variável		DD	DV	DLD	DLE
PetCO ₂	ESP	39,± 6	41 ± 5	40 ± 5	41 ±5
	CPAP	27, ±5 *	33 ± 5*	29 ± 5*	30 ± 4
	BiPAP	31, ± 5	32 ± 5+	30 ± 5+	31 ± 5
VC (L)	ESP	0,5 ± 0	0,5 ± 0	0,5 ±0	0,5 ±0
	CPAP	0,5 ± 0	0,6 ± 0	0,5 ± 0	0,7 ± 0
	BiPAP	0,8 ± 0+#	0,6 ± 0	0,7 ± 0	0,8 ± 0
VE (L)	ESP	6,5 ±3	7,4 ±6	5,5 ± 1	7,6 ± 3
	CPAP	6,9 ± 7	7,5 ± 8	8,0 ± 7	11 ± 11
	BiPAP	8,8 ± 4	7,8 ± 2	8,9 ± 3	9,9 ± 3
f (rpm)	ESP	14 ± 5	16, ± 4	14, ±4	17 ± 4
	CPAP	14± 4	13 ±3	15 ± 5	15, ± 3
	BiPAP	13 ± 3	14 ± 3	14 ± 5	14 ± 5
FC (btm)	ESP	74 ±8	75 ±8	73 ±7	75 ±6
	CPAP	74 ± 9	75 ± 8	72 ± 8	70, ±7
	BiPAP	70 ± 8	74 ± 8	71 ± 6	70 ± 7
SpO ₂ (%)	ESP	98 ± 1	98 ± 1	98 ± 1	98 ±1
	CPAP	99, ± 1	99 ± 1	99 ± 1	99 ± 0
	BiPAP	99 ± 1	98± 1	99 ± 1	99 ± 1

Resultados expressos em média e desvio padrão. DD= Decúbito dorsal, DV= Decúbito ventral, DLD= Decúbito Lateral direito, DLE= Decúbito lateral esquerdo, PetCO₂ = Fração expiratória de dióxido de carbono, f= frequência respiratória, FC= frequência cardíaca, VC= volume corrente, VE= Volume minuto.

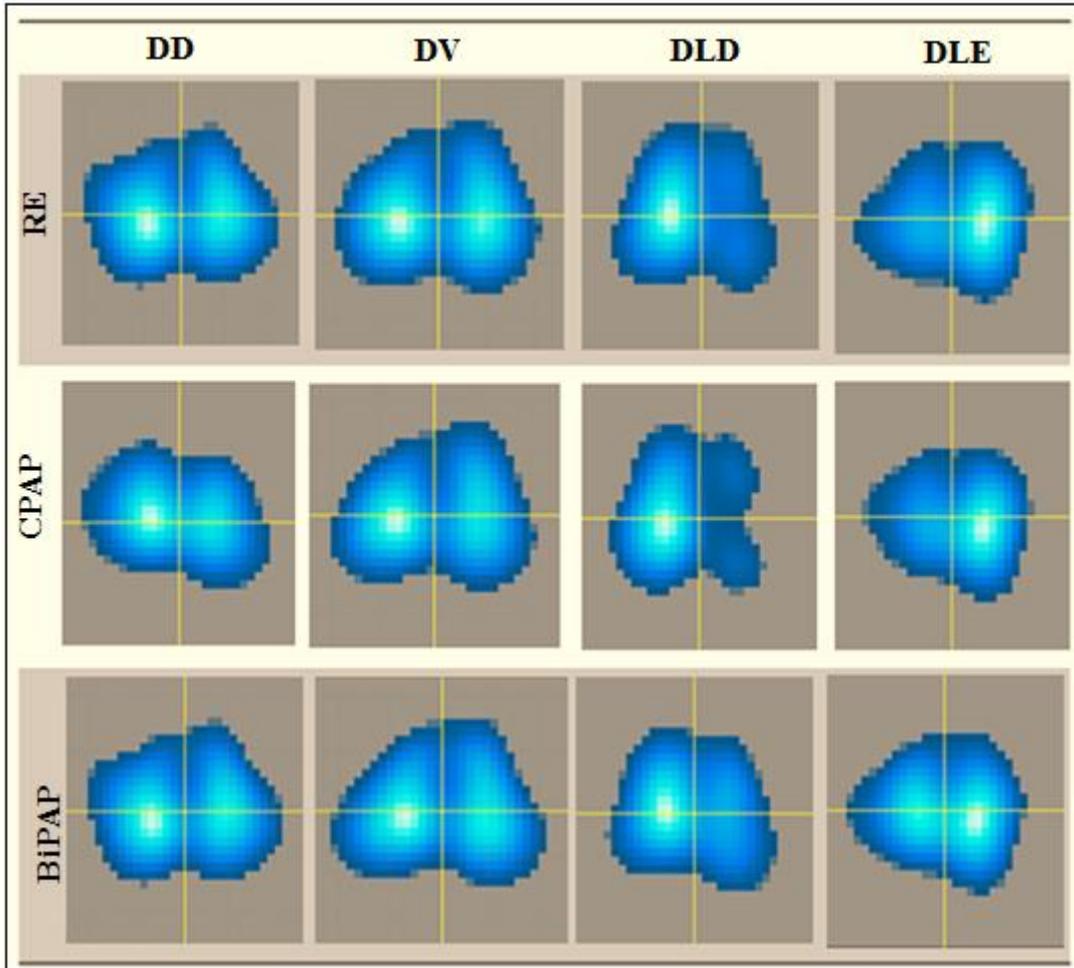
* Diferença estatística levando em consideração o mesmo decúbito mudando a modalidade respiratória:

*p<0,05 ESP vs CPAP; +P<0,05 ESP vs BiPAP; # p< 0,05 CPAP vs BiPAP

Apenas a PetCO₂ e o VC variaram de modo significativo. Quanto à PetCO₂: no decúbito dorsal, comparando ESP vs CPAP (p=0,015); no decúbito ventral, comparando o ESP vs CPAP (p=0,001) e ESP vs BiPAP p=0,038; no decúbito lateral direito, ESP vs CPAP p=0,002 e ESP vs BiPAP p=0,012; no decúbito lateral esquerdo, ESP vs CPAP p=0,000 e ESP vs BiPAP p=0,008. Quanto ao VC, no decúbito dorsal: ESP vs BiPAP p=0,035 e CPAP vs BiPAP p=0,003 (tabela 6).

Na figura 11, estão as imagens dos mapas funcionais de um voluntário representativo, visualizando a distribuição da ventilação pulmonar regional por quadrante durante a respiração espontânea, a VNI (modos CPAP e BiPAP) e nas mudanças de decúbitos.

Figura 11: Mapa de imagem funcional do TIE em um voluntário nos quatro decúbitos durante a respiração espontânea (RE), CPAP, BiPAP.



As áreas mais claras são as mais ventiladas, quanto mais claro, maior a ventilação para aquela determinada região, quanto mais escuro, menor a ventilação. DD= decúbito dorsal, DV= decúbito ventral, DLD= decúbito lateral direito, DLE= decúbito lateral esquerdo.

5.0 DISCUSSÃO

Este estudo em voluntários jovens saudáveis tem caráter original, pois poucos trabalhos apresentaram desenho similar, com variação de decúbitos e aplicação da VNI em pressões habitualmente utilizadas no tratamento de pacientes em insuficiência respiratória e empregando a TIE como ferramenta de avaliação. Estudos semelhantes existem, porém as técnicas de análises foram diferentes, e o decúbito ventral não foi adotado. Riedel et al. (2005) analisaram as posturas: sentado, dorsal e lateral direito e esquerdo, e avaliaram o ângulo de fase de insuflação das áreas dependentes e não dependentes através da inalação de hexafluoreto de enxofre (SF₆), tendo como conclusão que em indivíduos saudáveis o pulmão dependente é o mais ventilado. Já Reifferscheid et al. (2011) analisaram a ventilação pulmonar usando a TIE em dez voluntários saudáveis, estudando duas áreas do tórax, uma mais superior e a outra inferior, e dividindo as regiões de interesse em quatro zonas dispostas em quadrantes. Eles averiguaram a reprodutibilidade da ventilação através da TIE evidenciando a capacidade de reproduzir as medidas de DVPR mesmo após um período médio de oito dias, validando a TIE como ferramenta útil neste contexto.

Nesse estudo em voluntários jovens saudáveis, usando a VNI em vários decúbitos, os principais resultados encontrados foram: a TIE permitiu avaliar os efeitos da variação de decúbitos (dorsal, ventral, laterais direito e esquerdo) e da aplicação de VNI com pressão positiva sobre a DVPR. A análise das imagens obtidas pela TIE demonstraram que a ventilação foi direcionada para a região dependente em respiração espontânea em todos os decúbitos exceto o ventral, no qual a região dorsal persistiu mais ventilada que a ventral, sendo que nesta posição é não-dependente (REHDER, 1978 e KANEKO et al., 1966). Com a aplicação da VNI, a DVPR pulmonar não foi alterada de modo substancial, exceto quando houve aumento do VC no modo BiPAP em DLD, em que parte do VC foi direcionado para o pulmão esquerdo, não dependente nesta posição (RIEDEL et al., 2005).

Os dados deste ensaio experimental demonstraram que a aplicação da VNI nos modos CPAP e BiPAP, comparada à respiração espontânea, apresentou um efeito pequeno, não sendo capaz de alterar significativamente a DVPR. As zonas pulmonares dependentes foram sempre mais ventiladas em comparação com o pulmão não dependente durante a VNI, assim como nos decúbitos, com exceção do ventral. Esses dados são concordantes com os obtidos por Riedel et al. (2005). Eles estudaram dez voluntários saudáveis do sexo masculino,

ventilados no modo CPAP (0 e 10 cmH₂O) e no modo pressão de suporte com CPAP (PEEP variou de 0 a 5 cmH₂O e a pressão de suporte foi de 5 cmH₂O), em quatro posições: supino, prona e laterais direito e esquerdo. Eles mostraram que não houve alteração da distribuição da ventilação ou no volume corrente. Neste ponto, o presente estudo apresentou resultados diferentes, pois foi observado um aumento significativo do volume corrente no decúbito dorsal no modo BiPAP (15 cmH₂O no presente trabalho vs 10 cmH₂O no de Riedel et al.). O efeito do aumento do VC durante o BiPAP causou uma certa distribuição da ventilação para o pulmão não-dependente quando comparado ao modo CPAP ou à RE. Tal achado pode ter ocorrido pela utilização de uma pressão de IPAP mais alta no presente trabalho.

A mudança de decúbito é capaz de influenciar a DVPR em respiração espontânea e na VNI, ocasionando maior direcionamento de VC para a região dependente, sobretudo quando são adotados decúbitos laterais e comparados ao decúbito dorsal (posição supina). Entre os decúbitos laterais, o direito apresenta um maior efeito sobre a heterogeneidade da ventilação com importante incremento da mesma para o pulmão dependente em detrimento do não-dependente. Este dado confirma achados prévios e eram esperados (Amis et al., 1984; Kaneko et al., 1966; Roussos et al., 1977 ;Svanberg, 1957). De fato confirmamos dados de autores que demonstram diferenças entre os decúbitos laterais direito e esquerdo. Reifferscheid et al. (2011) relataram que a fração de VC foi significativamente maior na postura lateral direita. Vários mecanismos parecem envolvidos neste fenômeno. Chevrolet et al. (1979) demonstraram que a distribuição de ventilação no decúbito lateral é profundamente influenciada pela ação dos músculos respiratórios. Roussos et al. (1976a e 1977b) demonstraram que, no decúbito lateral, ocorrem alterações posturais na tensão do diafragma, que por sua vez afetam a distribuição do volume pulmonar através da modificação do gradiente de pressão pleural vertical e o deslocamento do mediastino. Bein et al. (2010) avaliaram a distribuição da ventilação pulmonar regional, usando a TIE, em sete pacientes ventilados mecanicamente no modo controlado. Eles mostraram que a mudança nos decúbitos laterais não induziu alterações significativas na distribuição do VC, porém no decúbito lateral direito, houve uma variação mais ampla do VC, com uma tendência para um aumento no pulmão dependente em comparação com supina. Além disso, o decúbito lateral promoveu uma redistribuição de ventilação para as regiões ventrais do pulmão, fato não observado no presente trabalho. Os resultados dessa pesquisa são parcialmente discordantes dos de Bein et al. (2010) provavelmente por estes autores terem estudado pacientes com lesão pulmonar aguda em ventilação mecânica controlada, isto é, sem atividade muscular. Um outro fator que pode explicar as diferenças aqui observadas entre os DLD e DLE, reside no fato de que a

ventilação pulmonar total é produto da ventilação regional e do volume pulmonar regional. Ambas as variáveis guardam relação direta com o volume pulmonar total. No DLE o pulmão dependente tem um menor volume do que no DLD. Neste caso, o efeito da gravidade no DLE tem menor impacto em aumentar a ventilação para o pulmão dependente neste decúbito do que no DLD devido ao menor volume do pulmão esquerdo. Além disso, fatores inerentes à própria estrutura anatômica da árvore traqueobrônquica, naturalmente assimétrica e fractal, direciona sempre uma maior ventilação para o pulmão direito (GALVIN, DRUMMOND, NIRMALAN, 2007). Esta explicação aponta para a complexa interrelação entre fatores estruturais anatômicos e gravitacionais na determinação final da DVPR.

No decúbito lateral direito, na modalidade BiPAP, a ventilação foi parcialmente redistribuída para a região não dependente, particularmente no DLD. Uma possível explicação reside no fato de que o pulmão direito é predominantemente insuflado inicialmente e, ao se atingir um certo grau de aeração, há redução da sua complacência e não comportando toda a ventilação, uma parcela do VC passa a ser dirigida para a região não dependente, no QSE. Embora esta explicação seja bastante plausível haveria necessidade de se avaliar a heterogeneidade temporal de distribuição, além da espacial, o que não foi realizado no presente trabalho.

Em decúbito ventral (posição prona), a DVPR foi diferente dos outros decúbitos, pois a ventilação foi direcionada em maior parte para a região posterior do pulmão, que nesta postura, é a não dependente. Este resultado era esperado, considerando-se estudos prévios que demonstram os efeitos da posição prona sobre a mecânica respiratória. A justificativa para este comportamento é embasada nas alterações sofridas do parênquima pulmonar dentro da caixa torácica nesta posição, ocasionando alterações das pressões transpulmonares, incluindo a inversão dos gradientes de peso pulmonar, assim como a complacência das regiões na posição prona em comparação à supina (HUBMAYR et al., 1983; LIU et al., 1990; PELOSI, BRAZZI; GATTINONI, 2002; GALIATSOU, et al., 2006). A ventilação é distribuída para a área mais complacente, no caso as regiões dorsais apresentam maior complacência que as porções ventrais dos pulmões, por ocorrer uma limitação de complacência, sobretudo pela conformação da caixa torácica neste decúbito, fazendo com que a ventilação seja distribuída em maior proporção para a região dorsal (não dependente) (MILIC-EMILI et al., 1966; GLAZIER et al., 1967; REHDER et al., 1977, PETERSSON et al. 2010; BRAZZI et al., 1999).

Em um estudo prévio do nosso grupo, no qual foi utilizada a TCAR em oito voluntários adultos saudáveis em respiração espontânea, avaliou-se a aeração pulmonar nas

posições prona e supina, sem e com aplicação de 10cmH₂O de CPAP por máscara nasal. Foi evidenciada uma menor percentual de hiperaeração pulmonar na posição prona em relação à supina, mesmo sem a aplicação do CPAP, o que ocorreu principalmente nas regiões dependentes (dorsal em prona e ventral na posição supina). Ou seja, a posição prona redirecionou a distribuição da aeração pulmonar da zona ventral para a dorsal. Este estudo enfatizou a importância de se avaliar os efeitos fisiológicos dos decúbitos e da CPAP na melhora da distribuição da aeração. No presente estudo, embora não tenha sido avaliado o grau de aeração pulmonar, encontrou-se um comportamento semelhante na distribuição da ventilação para a região dependente ou dorsal no decúbito ventral (WINKELER, 2006).

As variáveis cardiorrespiratórias f, FC e SpO₂ não sofreram alteração com mudança de decúbito e com aplicação da VNI nos modos CPAP e BiPAP. A PetCO₂ foi menor em decúbito dorsal comparado ao ventral. Pansard et al. (1992) verificaram em pacientes posicionados em decúbito lateral durante a cirurgia renal, que a PetCO₂ pode ser afetado por mudanças de decúbitos. Uma possível explicação reside numa indução de maior espaço morto na posição prona em relação à supina. Riedel et al (2005) demonstraram que o decúbito ventral se associou a aumento do volume de espaço morto em relação a posição supina. Como não avaliamos a PaCO₂ através de gasometria arterial, por se tratar de exame invasivo e doloroso, que teria que ser repetido diversas vezes, não é possível concluir com certeza qual o mecanismo envolvido neste resultado no presente trabalhos.

Este estudo possui algumas limitações, o número e a faixa etária de voluntários compõe uma amostra pequena (n=10), e não foram analisadas outras situações fisiológicas que podem influenciar a mecânica respiratória, como o envelhecimento, não tendo sido estudados indivíduos de meia-idade ou idosos. Também não é possível extrapolar os resultados para outros cenários, como doenças que comprometem o parênquima pulmonar.

A implicação clínica para pesquisas futuras é a de reforçar a importância da VNI, que tem como potencial vantagem distribuir a ventilação para a região dependente, semelhante à DVPR em respiração espontânea, enfatizando a ideia de que este tipo de suporte ventilatório é bem mais próximo da respiração espontânea do que a ventilação mecânica invasiva em modo controlado. A repercussão da VNI sobre a DVPR ainda precisa ser mais bem explorada, o que reforça a importância de se estudar de forma mais aprofundada e detalhada os efeitos fisiológicos da VNI e em diferentes patologias, notadamente aquelas que cursam com lesão pulmonar heterogênea, como a DPOC, a pneumonia lobar, a SARA e em situações fisiológicas como no caso do idoso.

6 CONCLUSÕES

A TIE demonstra com clareza os efeitos da variação de diferentes decúbitos sobre a DVPR em voluntários jovens saudáveis.

A DVPR é influenciada pela mudança de decúbitos em respiração espontânea e durante a VNI, direcionando maior proporção do VC para a região dependente, sobretudo quando adotados decúbitos laterais.

A mudança na DVPR foi maior nos decúbitos laterais em comparação ao dorsal (posição supina), com um maior incremento de ventilação para o pulmão dependente no decúbito direito em comparação ao esquerdo.

Em decúbito ventral (posição prona), a DVPR foi maior nas partes posteriores do pulmão, que é a região não dependente.

A aplicação de VNI (CPAP e BiPAP) não alterou DVPR de forma substancial. Apenas, no modo BiPAP, quando houve aumento do VC, uma parcela do mesmo pode ser redirecionado para as zonas pulmonares não-dependentes.

Não sofreram alteração com mudança de decúbito e com aplicação da VNI, no modo CPAP e BiPAP, as variáveis: f, FC, SpO₂, porém a PetCO₂ foi menor em decúbito dorsal comparado ao ventral.

REFERÊNCIAS

III CONSENSO BRASILEIRO DE VENTILAÇÃO MECÂNICA. **Jornal Brasileiro Pneumologia**, 2007;33(Supl 2):S 54-S 70.

INTERNATIONAL CONSENSUS CONFERENCE IN INTENSIVE CARE MEDICINE. Noninvasive positive pressure ventilation in acute respiratory failure **American journal of respiratory and critical care medicine**, v. 163, n. 1, p. 283-91, 2001.

ALBERT, R. K.; HUBMAYR, R. D. The prone position eliminates compression of the lungs by the heart. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 161, n. 5, p. 1660-5, 2000.

ALDERSON, P. O.; LINE, B. R. Scintigraphic Evaluation of Regional Pulmonary Ventilation. **Seminars in Nuclear Medicine**, v. 10, n. 3, p. 218-241, 1980.

AMICIS, T. C.; JONES, H. A.; HUGHES, J. M. Effect of posture on inter-regional distribution of pulmonary ventilation in man. **Respiration Physiology**, v. 56, p. 145-167. 1984.

BAYFORD, R. H. Bioimpedance Tomography (Electrical Impedance Tomography). **Annual Review of Biomedical Engineering**, v. 8, p. 63-91, 2006.

BARREIRO, T. J.; FACOI, F.C.C.P.; GEMMEL, D. J. Noninvasive Ventilation. **Critical Care Clinics**, v. 23, p.201–222, 2007.

BEIN, T.; PLONER, F.; RITZKA, M.; PFEIFER, M.; SCHLITT, H. J.; GRAF, B. M. No change in the regional distribution of tidal volume during lateral posture in mechanically ventilated patients assessed by electrical impedance tomography. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, v. 30, p. 234–240, 2010.

BERALDO, M. A. **Estudo dos efeitos da posição prona na distribuição regional da aeração e da perfusão pulmonar através da tomografia de impedância elétrica e da tomografia computadorizada multislice**. 2011. 81f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo (USP). São Paulo. 2011.

BODENSTEIN, M.; DAVID, M.; MARKSTALLER, K. Principles of electrical impedance tomography and its clinical application. **Critical Care Medicine**, n. 37, v. 2, p. 713-24, 2009.

BLANKMAN, P.; HASAN, D.; MOURIK, M. S. V.; GOMMERS, D. Ventilation distribution measured with EIT at varying levels of pressure support and Neurally Adjusted Ventilatory Assist in patients with ALI. **Intensive Care Medicine**, v. 39, p. 1057–1062, 2013.

CHADDA, K.; ANNANE, D.; HART, N.; GAJDOS, P.; RAPHAËL, J. C.; LOFASO, F. Cardiac and respiratory effects of continuous positive airway pressure and noninvasive ventilation in acute cardiac pulmonary edema. **Critical Care Medicine**, v. 30, p. 2457–61, 2002.

CHAMBERLAIN, M. J.; MORGAN, W. K. C.; VINITSKI, S. Factors influencing the regional deposition of inhaled in man. **Clinical Science**, v. 64, p: 69-78, 1983.

CHANG, H.; LAI-FOOK, S. J.; DOMINO, K. B.; SCHIMMEL, C.; HILDEBRANDT, J.; ROBERTSON, H. T. et al. Spatial distribution of ventilation and perfusion in anesthetized dogs in lateral postures. **Journal of Applied Physiology**, v. 92, p. 745–62, 2002.

CHEVROLET, J. C.; EMRICH, J.; R.R. MARTIN, R. R.; ENGEL, L. A. Voluntary changes in ventilation distribution in the lateral posture. **Respiration Physiology**, n.38, v.3, p.313-23, 1979.

COLOMBO, D.; CAMMAROTA, G.; BERGAMASCHI, V. et al. Physiologic response to varying levels of pressure support and neurally adjusted ventilatory assist in patients with acute respiratory failure. **Intensive Care Medicine**, n. 34, v. 11, p. 2010–2018, 2008.

COSTA, E. L; LIMA, R. G; AMATO, M. B. Electrical impedance tomography. **Current Opinion in Critical Care**, v. 15, n. 1, p. 18-24, 2009.

DANON, J.; DRUZ, W. S.; GOLDBERG, N. B.; SHARP, J. T. Function of the isolated paced diaphragm and the cervical accessory muscles in C1 quadriplegics. **American Review of Respiratory Disease**, v.119, p. 909-919, 1979.

DEAN, E. Effect of Body Position on Pulmonary Function. **Journal of Physical Therapy**, v. 65, p. 613-618, 1985.

DIRETRIZES BRASILEIRAS DE VENTILAÇÃO MECÂNICA 2013. Disponível em http://www.sbpt.org.br/downloads/arquivos/Dir_VM_2013/Diretrizes_VM2013_SBPT_AMI B.pdf.

FELIX, J. H.; CORTEZ, P. C.; COSTA, R. C. S.; FORTALEZA, S. C.B.; PEREIRA, E. D. B.; HOLANDA, M. A. Avaliação computacional de enfisema pulmonar em TC: comparação entre um sistema desenvolvido localmente e um sistema de uso livre. **Jornal Brasileiro Pneumologia**, v. 35, p. 868-876, 2009.

FORENSE, A.; BRYAN, C. Effect the anesthesia in paralysis diphragmatic in the man. **Anesthesiology**. v. 41, n. 4, 1974.

FOWLER, W. S.; CORNISHER, J. R.; KETY, S. E. Lung function studies VIII. Analysis of alveolar ventilation by pulmonary N₂ clearance curves **Journal of Clinical Investigation**, v. 31, p. 40-50, 1952.

FRERICHS, I.; HANH, G.; GOLISCH, W.; KURPITZ, DI, H.; HELLIGE, G. Monitoring perioperative changes in distribution of pulmonar ventilation detected by funcional electrical impedance tomography. **Acta Anaesthesiologica Scandinavica**, 42, p. 721-726, 1998.

FRERICHS, I.; HAHN, G.; SCHIFFMANN, H.; BERGER, G.; HELLIGE, G. Monitory regional lung ventilatio by functional eletrical impedance tomography during assisted ventilation. **Annals of the New York Academy of Sciences**, n. 20, v. 873, p. 493- 505,1999.

FRERICHS, I. Electrical impedance tomography (EIT) in applications related to lung and ventilation: a review of experimental and clinical activities. **Physiological Measurement**, v. 21, p. 1-21, 2000.

FRERICHS, I.; DARGAVILLE, P. A.; VAN GENDERINGER, H.; MOREL, D. R.; RIMENSBERGER, P. C. Lung volume recruitment after surfactant administration modifies spatial distribution of ventilation. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine** v. 174, n. 7, p. 772-9, 2006.

FRERICHS, I.; DUDYKEYVYCH, T.; HINZ, J.; BODENTEIN, M.; HAHN, G.; HELLIGE, G. Gravity effects on regional lung ventilation determined by function EIT during parabolic flights. **Journal of Applied Physiology**, v.91, p.39-50, 2001.

FRERICHS, I. **Non-invasive assessment of respiratory function in children**. In: *European respiratory society -Annual Congress,2010, Barcelona 2010*

GALVIN, I.; DRUMMOND, G. B.; NIRMALAN, M. Distribution of blood flow and ventilation in the lung: gravity is not the only factor. **British Journal of Anaesthesia**, n. 98, v. 4, p. 420-428, 2007.

GATTINONI, L.; CAIRONI, P.; PELOSI, P.; GOODMAN, L. R. What has computed tomography taught us about the acute respiratory distress syndrome **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 164, p. 1701-1711, 2001.

GATTINONI, L.; CAIRONI, P.; CRESSONI, M.; CHIUMELLO, D.; RANIERI, V. M.; QUINTEL, M. et al. Lung recruitment in patients with the acute respiratory distress syndrome. **The New England Journal of Medicine**, n.17, v.354, p. 1775- 1786, 2006.

GALIATSOU, E.; KOSTANTI, E.; SVARNA, E.; KITSAKOS, A.; KOULOURAS, V.; EFREMIDIS, S. C. et al. Prone position augments recruitment and prevents alveolar overinflation in acute lung injury. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 174, p. 187-197, 2006.

GLAISTER, D. H.; MILIC-EMILI, J.; BRYAN, A. C. et al. The effects of gravity and acceleration on the lung. *Technivision services slough, England*, 1970.

GLAZIER, J. B.; HUGHES, J. M.; MALONEY, J. E.; WEST, J. B. Vertical gradient of alveolar size in lungs of dogs frozen intact. **Journal of Applied Physiology**, v. 23, p. 694-705, 1967.

GUÉRIN, C.; REIGNIER, J.; RICHARD, J. C.; BEURET, P.; GACOUIN, A.; BOULAIN, T. et al. Prone Positioning in Severe Acute Respiratory Distress Syndrome. **New England Journal of Medicine**, v. 368, p. 2159-2168, 2013.

HESS, D. R. Noninvasive ventilation for acute respiratory failure. **Respiratory Care**, n. 6; v. 58, p. 950-972, 2013.

HOFFMAN, E. A. Effect of body orientation on regional lung expansion: a computed tomographic approach. **Journal of Applied Physiology**, n. 59, v. 2, p. 468-80, 1985.

HOFFMAN, E. A.; RITMAN, E. L. Effect of body orientation on regional lung expansion in dog and sloth. **Journal of Applied Physiology**, n. 59, v. 2, p. 481- 91, 1985.

HOFFMAN, E. A.; SINAK, L. J.; ROBB, R. A.; RITMAN, E. L. Noninvasive quantitative imaging of shape and volume of lungs. **Journal of Applied Physiology**, n. 54, v. 5, p. 1414-21, 1983.

HOLANDA, M. A.; FORTALEZA, S. C. B.; ALVES-DE-ALMEIDA, M.; WINKELER, G. F. P; REIS, R. C.; FELIX, J. H. S. et al. Continuous Positive Airway Pressure Effects on Regional Lung Aeration in Patients With COPD: A High-Resolution CT Scan Study. **Chest**, v.138, p.305-314, 2010.

HOLANDA, M. A.; FORTALEZA, S. C. B.; WINKELER, G. F.P. et al. Effects of the Prone Position on Emphysematous Areas of the Lungs and Its Influence on Nasal CPAP Effects on Lung Overinflation in COPD Patients. **American Journal of Respiratory and Critical Care medicine**, v. 179, 2009.

HUBMAYR, R.D.; WALTERS, B. J.; CHEVALIER, P. A.; RODARTE, J. R.; OLSON, L. E. Topographical distribution of regional lung volume in anesthetized dogs. **Journal of Applied Physiology**, n. 54, v. 4, p. 1048-56, 1983.

KANEKO, K.; MILIC-EMILI, J.; DOLOVICH, M. B.; DAWSON, A.; BATES, D. V. Regional distribution of ventilation and perfusion as a function of body position. **J. Journal of Applied Physiology**, n. 21, v. 3, p.767-77, 1966.

LIU, S.; MARGULIES, S. S.; WILSON, T. A. Deformation of the dog lung in the chest wall. **Journal of Applied Physiology**, n.68, v.5, p. 1979-87, 1990.

LOWHAGEN, K.; LUNDIN, S.; STENQVIST, O. Regional intratidal gas distribution in acute lung injury and acute respiratory distress syndrome assessed by electric impedance tomography. **Minerva Anestesiologica**, n. 76, v. 12, p. 1024–1035, 2010.

MACINTYRE, N. R. Patient-Ventilator Interactions: Optimizing Conventional Ventilation Modes. **Respiratory Care**, v. 56, n. 1, p: 73-84, 2011.

MARINHO, L. S.; SOUZA, N. P; BARROS, C. A. B. S; MATIAS, M. S; TORRES, L. M; BERALDO, M. A et al. A. Avaliação da ventilação pulmonar regional por tomografia de impedância elétrica em paciente com estenose brônquica unilateral pós-tuberculose. **Jornal Brasileiro Pneumologia**, n. 39, v. 6, p. 1-5, 2013

MILIC-EMILI J.; HENDERSON J. A. M.; DOLOVICH, M. B.; TROP, D.; KANEKO, K. Regional distribution of inspired gas in the lung. **Journal of Applied Physiology**, v. 21, p. 749-759, 1966.

MILIC-EMILI, J., HENDERSON, J.A.M KANEKO, K. Distribution of ventilation as investigated with radio-active gas in the lung. **Journal of Applied Physiology**, v. 21, p. 63-68, 1966.

- PAVIA, D.; BATEMAN, J. R.; SHEAHAN, N. F.; AGNEW, J. E.; CLARKE, S. W. Tracheobronchial mucociliary clearance in asthma: impairment during remission. **Thorax**, v. 40, p. 171-75, 1985.
- PAPPERT, D.; ROSSAINT, R.; SLAMA, K.; GRÜNING, T.; FALKE, K. J. Influence of positioning on ventilation-perfusion relationships in severe adult respiratory distress syndrome. **Chest**, n.106, v.5, p.1511-6, 1994.
- PANSARD, J. L.; CHOLLEY, B.; DEVILLIERS, C.; LERGUE, F.; VIARS, P. Variation in arterial to end-tidal CO₂ tension differences during anesthesia in the "Kidney Rest" lateral decubitus position. **Anesthesia and analgesia**, v. 75, n. 4, 506-10, 1992.
- PELOSI, P.; BRAZZI, L.; GATTINONI, L. Prone position in acute respiratory distress syndrome. **European Respiratory Journal**, n. 20, v. 4, p. 1017-28, 2002.
- PELOSI, P.; CAIRONI, P.; TACCONE, P.; BRAZIL L. Pathophysiology of prone positioning in the healthy lung in ALI/ARDS. **Minerva Anestesiologica**, v. 67, p. 238-47, 2001.
- PETERSSON, J.; SANCHEZ-CRESPO, A.; LARSSON, A. S.; MURE, M. Physiological imaging of the lung: single-photon-emission computed tomography (SPECT). **Journal of Applied Physiology**, v. 102, p. 468-76, 2007.
- PETERSSON, J.; AX, M.; FREY, J.; SÁNCHEZ-CRESPO, A.; LINDAHL, S. G.; MURE, M. End-expiratory Pressure Redistributes Regional Blood Flow and Ventilation Differently in Supine and Prone Humans. **Anesthesiology**, v. 113, n. 6, 2010.
- PIERSON, D. History and epidemiology of non invasive ventilation in the acute-care setting. **Respiratory Care**, v. 54, n. 1, 2009.
- PIERSON, D. J. Patient-Ventilator interaction. **Respiratory Care**, v. 56, n. 2, p: 214-228, 2011.
- PRISK, G. K. Physiology of a microgravity environment invited review: microgravity and the lung. **Journal of Applied Physiology**, v.89, p. 385-396, 2000.
- PRISK, G. K.; JANELLE, M. FINE.; TREVOR, K. C.; WEST, J. B. Vital capacity, respiratory muscle strength, and pulmonary gas exchange during long-duration exposure to microgravity. **Journal of Applied Physiology**, v.101, p. 439-447, 2006.
- PUTENSEN, C.; WRIGGE, H.; ZINSERLING, J. Electrical impedance tomography guided ventilation therapy. **Current Opinion in Critical Care**, n. 13, v. 3, p. 344-50, 2007.
- REIFFERSCHIED, F.; ELKE, G.; PULLETZ, S.; GAWELCZYK, B.; LAUTENSCHLÄGER, I.; STEINFATH, M. Regional ventilation distribution determined by electrical impedance tomography: Reproducibility and effects of posture and chest plane. **Respirology**, v.16, p.523-531, p.1929 523. 2011
- REHDER, K.; KNOPP, T. J.; SESSLER, A. D. Regional intrapulmonary gas distribution in awake and anesthetized-paralyzed prone man. **Journal of Applied Physiology**, v. 45, p. 528-535, 1978.

- REHDER, K.; SESSLER, A. D.; RODARTE, J. R. Regional intrapulmonary gas distribution in awake and anesthetized-paralyzed man. **Journal of Applied Physiology**, v. 42, p. 391-402, 1977.
- REHDER, K.; HATCH, D. J.; SESSLER, A. D. The function of each lung of anesthetized and paralyzed man during mechanical ventilation. **Anesthesiology**, v. 37, p. 16–26, 1972.
- REHDER, K. Postural changes in respiratory function. **Acta Anaesthesiologica Scandinavica**, n.42, v. 113, p. 13-16, 1998.
- RIEDEL, T.; RICHARDS, T.; SCHIBLER, A. The value of electrical impedance tomography in assessing the effect of body position and positive airway pressures on regional lung ventilation in spontaneously breathing subjects. **Intensive Care Medicine**, v.31, p. 1522–1528, 2005.
- ROSEMBLUM, L. J.; MAUCERI, R. A.; WELLENSTEIN, D. E.; THOMAS, F. D.; BASSANO, D. A.; RAASCH, B. N. et al. Density patterns in the normal lung as determined by computed tomography. **Radiology**, V. 137, p. 309- 416, 1980.
- ROUSSOS, C. S.; FIXLEY, M.; GENEST, J.; COSIO, M.; KELLY, S.; MARTIN, R. R et al. Voluntary factors influencing the distribution of inspired gas. **American Review of Respiratory Disease**, v.116, P. 457–467, 1977a.
- ROUSSOS, C. S.; MARTIN, R. R.; ENGEL, L.A. Diaphragmatic contraction and the gradient of alveolar expansion in the lateral posture. **Journal of Applied Physiology**, v. 43, p. 32–38, 1977b.
- ROUSSOS, M. D. C.; MACKLEM, M. D. P. T. The Respiratory Muscles. **The New England Journal of Medicine**, p. 786-797, 1982.
- SINDERBY, C.; BECK, J.; SPAHIJA, J.; DE MARCHIE, M.; LACROIX, J.; NAVALESI, P. et al. Inspiratory muscle unloading by neurally adjusted ventilatory assist during maximal inspiratory efforts in healthy subjects. **Chest**, n.131, v.3, p.711–717, 2007.
- TOBIN, M. J.; JUBRAN, A.; LAGHI, F. Patient-ventilator interaction. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 163, p. 1059-1063, 2001.
- TRAVALINE, J. M.; MAURER, A. H.; CHARKES, N. D. et al. Quantitation of regional ventilation during the washout phase of lung scintigraphy: measurement in patients with severe COPD before and after bilateral lung volume reduction surgery. **Chest**, n.118, v.3, p.721-7, 2000.
- VICTORINO, J. A.; BORGES, J. B.; OKAMOTO, V. N.; MATOS, G. F.; TUCCI, M. R.; CARAMEZ, M. P. et al. Imbalances in Regional Lung Ventilation - A Validation Study on Electrical Impedance Tomography **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v.169, p.791–800, 2004.
- WEST, J. B. Regional Differences in the Lung. **CHEST**, v. 74, n. 4, p. 426 -437, 1978.

WINKELER, G. F. P. **Efeitos agudos da administração da pressão positiva contínua em vias aéreas de modo não invasivo sobre o parênquima pulmonar de voluntários sadios nas posições supina e prona: alterações na tomografia computadorizada de alta resolução**, 2006. 133f. Tese (Mestrado em Medicina Clínica). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2006.

WRIGGE, H.; ZINSERLING, J.; MUDERS, T.; VARELMANN, D.; GÜNTHER, U.; VON DER GROEBEN, C. et al. Electrical impedance tomography compared with thoracic computed tomography during a slow inflation maneuver in experimental models of lung injury. **Critical Care Medicine**, n. 36, v. 3, p. 903-9, 2008.

APÊNDICE - A: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Estamos desenvolvendo uma pesquisa intitulada: **INTERAÇÃO DA VENTILAÇÃO NÃO INVASIVA E MUDANÇA DE DECÚBITO SOBRE A VENTILAÇÃO PULMONAR REGIONAL: ANÁLISE POR TOMOGRAFIA DE IMPEDÂNCIA ELÉTRICA.**

Esta pesquisa tem por objetivo registrar as alterações causadas pela ventilação não-invasiva sobre a ventilação regional dos pulmões através de tomografia de impedância elétrica do tórax, em diferentes posições, em voluntários jovens e idosos.

O senhor será orientado sobre como procederá a pesquisa. Em seguida, será posicionada uma faixa contendo 32 eletrodos ao redor do tórax. Após o devido posicionamento, será sorteada a ordem das posições em que será realizada a pesquisa.

O senhor será monitorado durante cerca de 60 minutos, alternando-se a sua respiração entre a espontânea e a com o uso de suporte ventilatório não-invasivo (VNI), sendo registrado o padrão ventilatório na impedância elétrica em quatro posições diferentes. Este procedimento, não lhe trará nenhum dano importante, e o risco será muito pequeno, uma vez que será realizado utilizando-se de pessoal treinado, e em ambiente e materiais adequados.

Os dados do exame serão mantidos em sigilo, e somente utilizados para esta pesquisa. Os resultados gerais serão apresentados e publicados em revistas científicas, sem sua identificação.

A pesquisa não tem fins lucrativos, portanto, a sua participação no estudo, não lhe trará nenhum ganho financeiro exceto, pelo seu orgulho de ter contribuído para o desenvolvimento científico do país.

Assim, gostaríamos de contar com a sua participação nesta pesquisa, contudo o senhor tem liberdade de desistir ou interromper a participação neste estudo, sem a necessidade de qualquer explicação e sem que isto venha a interferir no seu atendimento médico nesta instituição.

APÊNDICE B - IDENTIFICAÇÃO DOS RESPONSÁVEIS POR ESTE TRABALHO:

Nome: Liégina Silveira Marinho

Marcelo Alcântara Holanda

Telefone para contato: Liégina Silveira Marinho: (0**85)86074512

Marcelo Alcântara Holanda: (0**85)9973-07-14 ou 3366-8110

Quaisquer dúvidas sobre a participação nessa pesquisa entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa. Telefone: (0**85) 3366-8589 /4011-8213

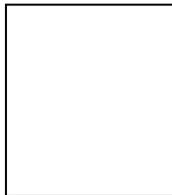
Tendo sido informado sobre a pesquisa, **INTERAÇÃO DA VENTILAÇÃO NÃO INVASIVA E MUDANÇA DE DECÚBITO SOBRE A VENTILAÇÃO PULMONAR REGIONAL: ANÁLISE POR TOMOGRAFIA DE IMPEDÂNCIA ELÉTRICA**, concordo em participar da mesma. Ressaltando que estou ciente de que terei garantido os direitos, segundo a resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde e Ministérios da Saúde.

Fortaleza ___ de _____ de 201_.

Nome: _____ Idade,

R.G.nº _____ Órgão Emissor _____

Residente e domiciliado à: _____



Digital

Participante do estudo

Pesquisador responsável

Testemunha

APÊNDICE-C: CARTA DE ACEITAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

HUWC/UFC
Comitê de Ética em Pesquisa
Cód CEP- 095.09.10



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
HOSPITAL UNIVERSITÁRIO WALTER CANTÍDIO
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

Rua Capitão Francisco Pedro, 1290 – Rodolfo Teófilo – 60.430-370 – Fortaleza-CE
FONE: (85) 3366-8589 / 3366-8613 E-MAIL: cephuwc@huwc.ufc.br

Protocolo nº: 095.09.10

Pesquisador(a) Responsável: Liégina Silveira Marinho

Departamento / Serviço:

Título do Projeto: **“Impacto da respiração com pressão positiva sobre a ventilação pulmonar regional em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC): análise por tomografia de impedância elétrica”**

O Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário Walter Cantídio analisou, na reunião do dia 27/09/10, o projeto de pesquisa supracitado e, baseando-se nas normas que regulamentam a pesquisa em seres humanos, do Conselho Nacional de Saúde (Resoluções CNS 196/96, 251/97, 292/99, 303/00, 304/00, 347/05, 346/05), resolveu classificá-lo como: **APROVADO**.

Salientamos a necessidade de apresentação de relatório ao CEP-HUWC da pesquisa dentro de 12 meses (data prevista: 27/09/11).

Fortaleza, 5 de outubro de 2010.

Maria de Fátima de Souza

Dra. Maria de Fátima de Souza
Coordenadora do CEP - HUW