

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEDICINA:  
PNEUMOLOGIA**

**CASSIANO TEIXEIRA**

**TRABALHO RESPIRATÓRIO NO DESMAME DA VENTILAÇÃO MECÂNICA**

Tese submetida à Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção do  
Grau de Doutor em Medicina: Pneumologia

**Porto Alegre, Rio Grande do Sul**

**2004**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEDICINA:  
PNEUMOLOGIA**

**TRABALHO RESPIRATÓRIO NO DESMAME DA VENTILAÇÃO MECÂNICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Medicina da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Medicina, área de concentração: Pneumologia

Orientador: **Prof. Dr. Paulo José Zimmermann Teixeira**

**CASSIANO TEIXEIRA**

Porto Alegre

2004

T266a **Teixeira, Cassiano**

A avaliação do trabalho respiratório na predição do desmame da ventilação mecânica / Cassiano Teixeira; orient. Paulo José Zimmermann Teixeira. Porto Alegre: UFRGS, 2004.

116f. graf. tab.

Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Medicina. Área de concentração: Pneumologia.

1. Pneumologia. 2. Ventilação Mecânica. 3. Desmame. I. Teixeira, Paulo José Zimmermann. II. Título.

C.D.D. 616.2

Ruth B.F. Oliveira/Bibliotecária  
CRB10/501

**“Os objetivos da vida são: Ser feliz e fazer alguém feliz,  
O resto se da um jeito.”**  
Cassiano Teixeira

**Agradeço aos meus pais, tios, primos e avós.**

**Aos amigos verdadeiros e afilhados.**

**Em especial ao Paulo e a Patrícia, pois sem eles nada teria acontecido.**

---

**SUMÁRIO**

<b>Lista de abreviaturas</b> .....	7
<b>Lista de quadros e figuras</b> .....	9
<b>Introdução</b> .....	10
<b>Hipóteses</b> .....	39
<b>Objetivos</b> .....	40
<b>Referências bibliográficas</b> .....	41
<b>Artigo 1: Avaliação seqüencial do Índice de Respiração Superficial como preditor de sucesso no desmame da ventilação mecânica</b> .....	49
<b>Artigo 2: Avaliação contínua do trabalho respiratório durante a ventilação espontânea com tubo T: preditor de desmame da ventilação mecânica?</b> .....	67
<b>Artigo 1 (versão para publicação): Serial Measurement of <math>f/V_T</math> is a Predictor of Weaning Success of Mechanical Ventilation ?</b> .....	90
<b>Artigo 2 (versão para publicação): Continuous Evaluation of Work of Breathing During as a Predictor of Weaning Success from Mechanical Ventilation</b> .....	115

---

**LISTA DE ABREVIATURAS**

**APACHE II** – Escore de Avaliação Fisiológica Aguda e Crônica de Saúde

**C<sub>din</sub>** – Complacência Dinâmica

**CO<sub>2</sub>** – Gás Carbônico

**CROP** – Fórmula que compreende a Complacência Dinâmica, Frequência Respiratória, Índice de Oxigenação e Pressão Inspiratória Máxima

**CV** – Capacidade Vital

**DPOC** – Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica

**EMG** - Eletroencefalografia

**FR** – Frequência Respiratória

**f/V<sub>T</sub>** – Índice de Respiração Superficial

**O<sub>2</sub>** - Oxigênio

**P<sub>0,1</sub>** – Pressão de Oclusão das Vias Aéreas

**PaO<sub>2</sub>** - Pressão Parcial de Oxigênio Arterial

**PaO<sub>2</sub> / FIO<sub>2</sub>** – Razão entre a Pressão Parcial de Oxigênio Arterial e a Fração Inspirada de Oxigênio

**P<sub>br</sub>** – Pressão Barométrica

**PCO<sub>2</sub>** – Pressão Parcial de Gás Carbônico Arterial

**PCO<sub>2muc</sub>** – Pressão Parcial de Gás Carbônico Intramucoso

**Pdi** – Pressão Transdiafragmática

**PEEP** – Pressão Positiva no Final da Inspiração

**Pes** – Pressão Esofágica

**Pga** – Pressão Gástrica

**PAM** – Pressão Arterial Média

**PAS** – Pressão Arterial Sistólica

**P<sub>avs</sub>** – Pressão de Abertura das Vias Respiratórias

**P<sub>ca</sub>** – Pressão Carinal

**pH<sub>i</sub>** – pH intramucoso

**PI<sub>máx</sub>** – Pressão Inspiratória Máxima

**P<sub>máx</sub>** – Pressão Máxima das Vias Aéreas

**PSV** – Ventilação com Pressão de Suporte

**RRS** – Respiração Rápida Superficial

**SAPS** – Escore Fisiológico Agudo Simplificado

**SIMV** – Ventilação Mandatória Intermitente Sincronizada

**TET** - Tubo Endotraqueal

**TI** – Terapia Intensiva

**TI / T<sub>tot</sub>** – Razão entre o Tempo Inspiratório e o Tempo Respiratório Total

**TTdi** – Índice Pressão-Tempo

**UTI** – Unidade de Terapia Intensiva

**VAC** – Volume de Ar Corrente

**VETT (SBT)** – Ventilação Espontânea com Tubo T (Spontaneous Breathing Trial)

**V/M** – Volume Minuto

**VM** – Ventilação Mecânica

**VNI** – Ventilação Mecânica Não Invasiva

**VO<sub>2</sub>** – Consumo de Oxigênio Global

**VO<sub>2resp</sub>** – Consumo de Oxigênio da Musculatura Respiratória

**ΔVO<sub>2</sub>** – Diferença entre o Consumo de Oxigênio Respiratório e o Consumo de Oxigênio Corporal Total

**W** – Trabalho Respiratório

**W<sub>el</sub>** – Trabalho Respiratório Elástico

**W<sub>res</sub>** – Trabalho Respiratório Fluxo-Resistivo

**W<sub>VM</sub>** – Trabalho do Circuito Ventilatório



---

## **LISTA DE QUADROS E FIGURAS**

**Quadro 1:** Causas de falha da bomba respiratória.

**Quadro 2:** Critérios clínicos, ventilatórios e hemodinâmicos para descontinuação da ventilação mecânica invasiva.

**Quadro 3:** Critérios para tolerância do teste de ventilação espontânea com tubo T.

**Quadro 4:** Parâmetros clínicos, ventilatórios, hemodinâmicos e fisiológicos para predição do desmame da ventilação mecânica invasiva.

**Quadro 5:** Preditores do desmame ventilatório e subgrupos de pacientes.

**Quadro 6:** Capacidade preditiva dos índices de desmame ventilatório.

**Figura 1:** Representação gráfica do trabalho respiratório.

**Figura 2:** Representação gráfica do diagrama de *Campbell*.

**Quadro 7:** Relação entre o sítio de medida da pressão e modo de ventilação com o trabalho respiratório.

**Quadro 8:** Autores que descreveram o trabalho respiratório na predição de sucesso ou falha no desmame.

---

## **INTRODUÇÃO**

A evolução tecnológica das Unidades de Terapia Intensiva (UTIs), o surgimento de novas técnicas de monitorização e de tratamentos inovadores, aumentaram a credibilidade e complexidade da especialidade e levaram a publicação de dados mais consistentes sobre regimes e formas ventilação mecânica invasiva (VM). A aplicação da VM superou a indicação de substituição temporária da capacidade respiratória para a manutenção da vida, alcançando a importância de especialidade médica com capacidade de diagnosticar e tratar doenças pulmonares reconhecidas pela gravidade de apresentação. O desenvolvimento de técnicas especiais como: aplicação de pressão positiva no final da expiração (PEEP), ventilação líquida, por alta frequência, não invasiva e em posição prona, reduziu o número de complicações atribuídas a VM e aumentou a sobrevivência dos pacientes criticamente doentes.

O estudo do suporte ventilatório invasivo constitui uma das áreas médicas com maior quantidade de estudos clínicos. Sua riqueza de detalhes subdivide-a, a cada patologia nova estudada, transformando-a numa sub-especialidade médica individualizada e em constante crescimento.

O desmame ventilatório, retirada do paciente do suporte por pressão positiva e retirada da prótese respiratória, ocupa lugar de destaque por preencher um terço do tempo total de ventilação mecânica invasiva. Suas técnicas e modos de execução ocupam e são revisadas continuamente nas revistas especializadas e são estudadas por todo o mundo.

## I. VENTILAÇÃO MECÂNICA

### 1. HISTÓRICO DA VENTILAÇÃO MECÂNICA

Os primeiros aparelhos de VM surgiram para fins de anestesia e tratamento cirúrgico de doenças esofágicas, evitando a morte dos pacientes pelo pneumotórax iatrogênico necessário ao acesso cirúrgico deste órgão (TERZI E CARVALHO, 2000). Duas técnicas eram empregadas na época:

- a. Ventilação pulmonar por pressão negativa: a ventilação era obtida por oferta de pressão negativa extratorácica intercalada a períodos de repouso pressórico, oferecidos por um dispositivo hermeticamente fechado ao redor do corpo (“*pulmão de aço*”) ou da caixa torácica e abdômen (“*couraça tóraco-abdominal*”). A abertura das vias aéreas dava-se pela manutenção da cabeça do paciente no exterior do compartimento e em contato com a atmosfera;
- b. Ventilação pulmonar por pressão positiva: a ventilação era obtida por oferta de pressão positiva através de máscara facial ou canulação da laringe ou traquéia. Inicialmente foi realizada por técnica de *narcoventilação* (pressões inspiratórias contínuas) e posteriormente por insuflações inspiratórias manuais ou programadas e intercaladas com períodos de repouso pressórico expiratório.

Em meados do século XX, um grave problema de saúde pública assolou a Europa. Os surtos epidêmicos de Poliomielite Anterior Aguda dizimavam comunidades e causavam danos neurológicos graves quando não a morte dos pacientes. A medicina assistia impotente, a cada verão, as tristes estatísticas dos surtos. Drinker (engenheiro), Shaw (fisiologista) e McKhann (médico), pesquisadores da Universidade de Harvard, em 12 de outubro de 1928 experimentaram a ventilação pulmonar por pressão negativa em humanos com poliomielite. O “*pulmão de aço*” apresentou um sucesso significativo, porém temporário, e as taxas de mortalidade permaneceram elevadas. Ao contrário da

América, a Dinamarca, durante o surto epidêmico de 1952 (Copenhague), transferiu a técnica anestésica de ventilação com pressão positiva do bloco cirúrgico para as enfermarias. O emprego da traqueostomia, de tubos ventilatórios providos de balonete e bolsas anestésicas enriquecidas com oxigênio a 50% demonstrou boa eficácia clínica. Com o uso da força motriz dos estudantes de medicina da época, foi criada uma técnica de ventilação muito mais barata do que os “*pulmões de aço*” e com maior taxa de sobrevida (GONÇALVES, 2000). Neste momento estava criada a primeira UTI.

Giertz e Morch (pesquisadores escandinavos) são citados como os precursores da VM, pois aplicaram, pela primeira vez, de forma programada e intermitente, pressões inspiratórias positivas e pausas expiratórias. Daí surgiram os conceitos de ciclo inspiratório e expiratório. Salienta-se aqui que o *Pulmoventilador*, desenvolvido em 1951 pelo carioca J.J. Cabral de Almeida, constitui o primeiro aparelho do Brasil, e um dos primeiros do mundo capaz de realizar estes ciclos respiratórios controlados. Nos anos que se seguiram, este foi modernizado pelo paulista Kentaro Takaoka e pelo gaúcho Flávio Kroeff Pires (TERZI E CARVALHO, 2000).

Uma explosão de conhecimentos referentes à fisiologia respiratória ocorreu durante e imediatamente após a Segunda Guerra Mundial, principalmente nos campos da mecânica respiratória e medidas de gases sangüíneos. A década de 70 se caracterizou pela implantação de Unidades Respiratórias, nas quais atuavam profissionais com interesse específico em VM. Desenvolveram-se os regimes ventilatórios, surgiu a PEEP e foram introduzidos tubos traqueais com balonetes cilíndricos e mais complacentes, o que reduzia o risco de estenose traqueal. Na década de 80 popularizaram-se os respiradores microprocessados que permitiam a seleção de diferentes modalidades ventilatórias, curvas inspiratórias variadas e seleção de níveis de concentração de oxigênio. Inicia-se nesta época a corrida empresarial por um investimento muito lucrativo: a Medicina Intensiva. Nos anos 90, a monitorização da função respiratória evoluiu, tornando-se cada vez menos invasiva e de fácil aplicação. A oximetria digital, a capnografia e os aparelhos portáteis de monitorização da mecânica respiratória foram trazidos

para a beira do leito e incorporados a monitores multiparamétricos que permitiam a avaliação em tempo real da fisiologia do sistema respiratório e das aplicações clínicas das diversas modalidades ventilatórias. Doenças específicas foram estudadas, diagnósticos novos descobertos e regimes ventilatórios individualizados para cada doença. A necessidade de cura das doenças e o momento ideal para descontinuação do suporte ventilatório invasivo passaram a ocupar lugar de destaque no estudo médico.

## 2. INDICAÇÕES DE VENTILAÇÃO MECÂNICA

Apesar da evolução das técnicas de monitorização respiratória e o melhor conhecimento da fisiopatologia da falência respiratória, as indicações de VM, descritas há décadas, permanecem atuais (GONÇALVES, 2000). O emprego precoce da VM visa evitar o desenvolvimento da fadiga muscular respiratória que, além de ameaçar a vida dos doentes, gera lesão microscópica das fibras musculares diafragmáticas (GONÇALVES, 2000). O aspecto clínico parece superar a análise de exames laboratoriais e de mecânica respiratória, principalmente quando a intubação está indicada em casos de risco de vida imediato para o paciente.

A instituição da VM deve ocorrer nos casos de (ALDRICH E PREZANT, 1994; JUBRAN E TOBIN, 1998):

- Hipoxemia aguda (resultado de alterações na relação ventilação/perfusão, com redução da capacidade difusão do oxigênio através da membrana alvéolo-capilar: “*shunt*” pulmonar);
- Hipercapnia aguda (resultado do aumento do espaço morto fisiológico - redução da ventilação alveolar);
- Alterações de mecânica respiratória (resultado da redução do volume de ar corrente – VAC, redução da capacidade vital – CV, aumento do volume minuto – Vm ou aumento da frequência respiratória – FR);

- Aumento do trabalho muscular respiratório (resultado da redução da capacidade neuromuscular ou do aumento na demanda metabólica dos músculos respiratórios).

Todas estas indicações são pontualmente definidas na literatura, porém muito difíceis de serem aplicadas na prática clínica diária. Neste momento, a experiência do médico ganha maior importância.

### **3. RISCOS ATRIBUÍDOS AO EMPREGO DA VENTILAÇÃO MECÂNICA INVASIVA**

Embora freqüentemente salvadora de vidas, a intubação endotraqueal e a VM estão associadas a complicações graves. Por este motivo, é importante que a extubação ocorra com a maior precocidade possível. O ato de extubar deve sempre ser bem planejada e executada com o objetivo de evitar a necessidade da reintubação (JUBRAN E TOBIN, 1998).

A intubação endotraqueal ou translaríngea consiste na inserção de uma prótese respiratória com balonete de oclusão, visando à manutenção de uma via aérea artificial definitiva. Inúmeras são as descrições de complicações associadas ao procedimento e sua ocorrência depende da urgência em que é realizado, das dificuldades técnicas relacionadas ao paciente e da experiência do profissional executante. A freqüência global de complicações aproxima-se de 30 a 75% e a taxa de mortalidade, de 0,01 a 1,5% (STAUFFER, 1994). Para facilitar a descrição destas, podemos subdividi-las temporalmente em:

- Complicações durante a colocação do tubo endotraqueal (TET): lacerações faciais, nasais, oculares ou orais, fraturas dentárias, laceração, contusão ou perfuração faríngea com mediastinite consecutiva, contusão de cordas vocais, luxação de aritenóides, intubação esofágica, ruptura traqueal e intubação brônquica seletiva com hiperinsuflação pulmonar unilateral;
- Complicações pela presença do TET: necrose nasal, sinusite infecciosa, otite média ou externa infecciosa, ulceração ou celulite labial, estomatite infecciosa, ulceração da parede posterior da

laringe, hemorragia ou formação de corpo estranho glótico, paralisia de cordas vocais, traqueo-bronquite traumática, traqueomalácia, fístula traqueo-esofágica, atelectasia pulmonar e pneumonia nosocomial por redução da atividade mucociliar;

- Complicações durante e após a extubação: risco de vida pela necessidade de reintubação de urgência, rouquidão, edema de laringe com estridor e risco de insuficiência respiratória obstrutiva, ineficácia temporária do reflexo de tosse, laringoespasma, paralisia de cordas vocais, granuloma faríngeo, subglótico ou traqueal, abscesso cricóideo e estenose traqueal.

As complicações atribuídas à VM são aquelas associadas ao regime ventilatório em si. As mais freqüentemente encontradas são (PINGLETON, 2000):

- Embolia pulmonar (8-27%);
- Alterações da motilidade gastrointestinal (50%) com risco de hemorragia digestiva por desenvolvimento de úlceras isquêmicas de estresse (úlceras de Cushing) (5%);
- Arritmias ou isquemia cardíaca (16%);
- Insuficiência renal aguda (3%);
- Infecções nosocomiais (traqueo-bronquite e pneumonia);
- Lesão induzida pelo ventilador (barotrauma ou volutrauma) (2%);

Os regimes ventilatórios caracterizados por elevadas pressões de vias aéreas e elevados volumes inspiratórios são danosos às vias respiratórias, causando rupturas no epitélio respiratório com evolução para lesão alveolar definitiva. A gravidade pode estender-se desde achados radiológicos sem necessidade de tratamento clínico (enfisema intersticial pulmonar, dilatação cística, enfisema subcutâneo e pneumomediastino) até complicações ameaçadoras à vida (pneumotórax, pneumoperitônio e fístula broncopleural) (PIERSON, 1994; BROCHARD, 1997; TREMBLAY et al, 1998);

- Toxicidade pelo oxigênio: Regimes ventilatórios com aplicação de elevadas frações inspiradas de oxigênio (superior a 60%) são responsáveis por atelectasias de reabsorção, traqueobronquite aguda e dano alveolar difuso. Nos casos mais graves há evolução para displasia broncopulmonar (LODATO, 1994);
- Pneumonia associada à VM (10-25%): Importante pela elevada taxa de mortalidade (33-71%) e pela peculiaridade da microbiota bacteriana específica responsável pelo seu desenvolvimento (TEIXEIRA E BALTHAZAR, 2003).



## **II. DESCONTINUAÇÃO DA VENTILAÇÃO MECÂNICA – “DESMAME VENTILATÓRIO”**

Consiste num dos capítulos mais estudados na Terapia Intensiva (TI) e abrange desde a redução do suporte ventilatório invasivo até a retirada da prótese respiratória. A importância deste assunto é facilmente confirmada pelo fato de aproximadamente 40-42% do tempo total em que o paciente permanece em VM ser gasto na tentativa de retirá-lo do aparelho (ESTEBAN et al, 1994).

O termo desmame, em senso estrito, refere-se à lenta redução da quantidade de suporte ventilatório, com o paciente gradativamente assumindo a sua ventilação. A literatura, porém, conceitua desmame como todo o processo de descontinuação da VM, incluindo desde a redução do suporte ventilatório, retirada da prótese respiratória e adequada tolerância 48 horas após a extubação (ESTEBAN et al, 1999).

Os fatores clínicos e fisiopatológicos que determinam a habilidade em tolerar a descontinuação do suporte ventilatório são: habilidade de troca gasosa (hipoxemia), fatores psicológicos (ansiedade, pânico e insegurança) e capacidade contrátil da musculatura respiratória. Os problemas de performance da musculatura respiratória representam as causas e são detalhados no quadro 1 (JUBRAN E TOBIN, 1998).

Quadro 1: Causas de falha da bomba respiratória\*.

Diminuição da capacidade neuromuscular respiratória	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução do estímulo respiratório central</li> <li>- Disfunção do nervo frênico</li> <li>- Redução da força e <i>endurance</i>** da musculatura respiratória (anormalidades metabólicas, desnutrição, hiperinsuflação pulmonar, anormalidades motoras da parede torácica, endocrinopatias, atrofia muscular pelo desuso, neuropatias periféricas, fadiga muscular respiratória, efeitos colaterais medicamentosos e redução da oferta de oxigênio à musculatura por anemia ou baixa reserva miocárdica)</li> </ul>
Aumento da demanda muscular respiratória	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento do trabalho respiratório</li> <li>- Aumento das necessidades ventilatórias (aumento da produção de CO<sub>2</sub>, aumento da ventilação de espaço morto e aumento inapropriado e não compensatório do estímulo respiratório)</li> </ul>

\* As alterações da capacidade muscular respiratória são facilmente observadas quando utilizados testes de ventilação espontânea com tubo T (VETT) e representam as causas mais frequentes de falha no desmame ventilatório.

\*\* Foi utilizada a palavra na língua inglesa devido a sua aplicação freqüente nos artigos médicos e a ausência de uma palavra que a traduza com o significado adequado. Significa a capacidade de sustentar a força muscular durante um período de tempo prolongado.

O paciente incapaz de tolerar a retirada do suporte ventilatório demonstra sua ineficácia ventilatória através de sinais clínicos de fácil detecção. Manifestações como ansiedade, sonolência, taquicardia, taquipnéia, hipertensão ou hipotensão, sudorese, recrutamento da musculatura respiratória acessória (esternocleidomastoideo e intercostais), batimentos de asa do nariz e assincronia tóraco-abdominal definem fadiga muscular respiratória já instalada.

A fadiga é definida como a perda da capacidade de gerar força, sendo reversível unicamente pelo repouso (TOBIN et al, 1997). A detecção precoce da fadiga muscular provavelmente constitua a maneira mais eficaz de reduzir os erros no desmame. Porém, o papel desta na dependência do suporte

ventilatório ainda não é bem entendido e os autores, até o momento, têm dificuldade em comprovar uma correlação. COHEN et al. (1982), utilizando eletromiografia diafragmática (EMG) e GOLDSTONE et al. (1994), aplicando medidas de pressão transdiafragmática (Pdi) em 9 pacientes, demonstraram relação entre testes específicos para fadiga e sucesso no desmame. Já SWARTZ e MARINO (1985), avaliando Pdi em 9 pacientes que falharam no desmame demonstraram que as ondas de pressão permaneciam elevadas apesar da progressiva retenção de CO<sub>2</sub>, demonstrando que a falha no desmame não era conseqüente à fadiga diafragmática. Os resultados contraditórios dos estudos não reduzem a importância das tentativas de correlação entre falha no desmame e desenvolvimento de fadiga muscular. Cabe ressaltar que estas técnicas de avaliação (pressão inspiratória máxima – PI<sub>máx</sub><sup>\*</sup>, pressão transdiafragmática – Pdi<sup>\*\*</sup>, EMG e índice tensão-tempo – TTdi<sup>\*\*\*</sup>) foram aplicadas a voluntários normais e, talvez por este motivo, não tenham se relacionado adequadamente aos pacientes criticamente doentes (TOBIN E LAGUI, 1998).

---

\* Para a mensuração da PI<sub>máx</sub> deve-se ocluir a via aérea com uma válvula unidirecional por 20 a 25 segundos, permitindo ao paciente somente a expiração. O paciente é obrigado a realizar um esforço inspiratório e a média dos 3 valores mais negativos define a PI<sub>máx</sub>. Quanto maior a pressão negativa produzida, maior a capacidade respiratória do paciente (PI<sub>máx</sub> referência < - 30 cmH<sub>2</sub>O).

\*\* Para o cálculo da Pdi são necessárias as medidas das pressões esofágicas (Pes) e gástrica (Pga) e aplicação da fórmula: Pdi = Pga – Pes. Quanto menor o valor da Pdi, maior a fraqueza muscular diafragmática (Pdi referência > 70mmHg).

\*\*\* Os maiores determinantes da fadiga muscular inspiratória são a força muscular inspiratória, a pressão inspiratória média e a duração do esforço inspiratório. Estes fatores foram condensados no índice tensão-tempo (TTdi = P<sub>br</sub>média/P<sub>máx</sub> x TI/T<sub>TOT</sub>), onde P<sub>br</sub> é a pressão barométrica, P<sub>máx</sub> é a pressão respiratória durante uma manobra estática máxima e TI/T<sub>TOT</sub> é a fração entre o tempo inspiratório e o ciclo respiratório total. O TTdi corresponde à estimativa da força e da duração da contração diafragmática e consiste numa estimativa indireta do consumo de oxigênio da musculatura respiratória (VO<sub>2resp</sub>). Quanto maior o seu valor, maior é o trabalho imposto ao diafragma e, portanto, maior a possibilidade de fadiga muscular (TTdi referência < 0,15).

A fadiga é reversível somente pelo repouso e, para a musculatura respiratória, isto significa necessidade de suporte ventilatório. Um ciclo vicioso então está instalado. Tentativas mal sucedidas de desmame levam a períodos consecutivos de fadiga e posterior dano estrutural da fibra muscular. Por outro lado, tentativas de minimizar o risco de fadiga postergando o início do desmame geram repouso exagerado da musculatura e conseqüente atrofia pelo desuso, entre outras complicações (TOBIN et al, 1997). O desenvolvimento de um padrão respiratório tipo “respiração rápida superficial” (RRS), isto é, redução do VAC associado com aumento progressivo da FR, representa um mecanismo precoce de adaptação da musculatura respiratória na tentativa de manter a eficácia ventilatória (JUBRAN E TOBIN, 1998). O padrão de RRS leva a hiperinsuflação pulmonar e, devido à posição desfavorável da curva tensão-comprimento, aumento do raio de curvatura e orientação medial das fibras musculares diafragmáticas, reduz a força e a *endurance* dos músculos respiratórios (YANG et al, 1989).

## **1. O MELHOR MOMENTO PARA DESCONTINUAR A VENTILAÇÃO MECÂNICA**

O binômio extubação precoce / extubação tardia permanece interrogando a correta tomada de decisão. Acredita-se que as taxas ideais de reintubação devam permanecer entre 5 e 15%, porém os autores descrevem 4 a 33% de reintubação (EPSTEIN E CIUBOTARU, 1998; VALLVERDU et al, 1998).

A retirada precoce da prótese respiratória pode levar a insuficiência respiratória secundária ao edema de glote e necessidade imediata de restabelecimento da via aérea. Trata-se de uma urgência médica que deve ser tratada com a maior rapidez possível. A reintubação, no entanto, geralmente é um procedimento eletivo e decidido com antecedência. A evolução do paciente para a fadiga respiratória ocorre progressivamente durante algumas horas e a reintubação deve ser realizada nas melhores condições médicas. A necessidade de reintubação aumenta a taxa de pneumonia nosocomial em 8 vezes (TORRES et al, 1992; VALLVERDU et al, 1998) e a mortalidade em 6 a 12 vezes (ESTEBAN

et al, 1997; ESTEBAN et, 1999; EPSTEIN, 1997). Em contra partida, o retardo na retirada da prótese respiratória aumenta a frequência de complicações relacionadas à VM. Existe maior risco de infecções nosocomiais (ELY et al, 1999), maior frequência de lesões relacionadas à presença do TET (lesão faríngea e laríngea), aumento do risco de barotrauma (FAGON et al, 1993) e atrofia da musculatura respiratória pelo desuso.

Está definido que todos os pacientes que preencherem critérios definidos (quadro 2) devem ser submetidos formalmente a um teste de VETT, como forma de descontinuação da VM.

Quadro 2: Critérios clínicos, ventilatórios e hemodinâmicos para descontinuação da ventilação mecânica invasiva (MacINTYRE et al, 2001/2002).

Oxigenação adequada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>pO_2 &gt; 60</math> mmHg com <math>FIO_2 &lt; 0.4</math></li> <li>- <math>pO_2/FIO_2 &gt; 150-200</math> com PEEP <math>&lt; 5-8</math> cmH<sub>2</sub>O</li> <li>- pH <math>&gt; 7.25</math></li> </ul>
Estabilidade hemodinâmica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frequência cardíaca <math>&lt; 140</math> bpm</li> <li>- Ausência de isquemia miocárdica ativa</li> <li>- Necessidade de drogas vasoativas (dopamina ou dobutamina) em doses <math>&lt; 5</math> µg/kg/min.</li> </ul>
Miscelânea	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nível de hemoglobina <math>&gt; 8-10</math> g/d</li> <li>- Ausência de febre</li> </ul>
Capacidade de iniciar o esforço respiratório	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estado mental adequado</li> <li>- Ausência de sedação contínua</li> <li>- Reflexo de tosse preservado</li> </ul>
Resolução da causa da insuficiência respiratória	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tratamento da doença de base</li> </ul>

## 2. O MELHOR MÉTODO PARA A DESCONTINUAÇÃO DO SUPORTE VENTILATÓRIO

Nas décadas de 80 e 90 foram publicados os primeiros estudos sobre desmame ventilatório, porém o empirismo das técnicas utilizadas na prática clínica só foi suplantado com os ensaios clínicos de BROCHARD et al. (1994) e

ESTEBAN et al. (1995). Suas conclusões são aplicadas àqueles pacientes dependentes de VM por tempo superior a 48 horas e falha no desmame após teste de 2 horas de VETT. BROCHARD et al. (1994), estudando 109 pacientes randomizados em 3 técnicas de desmame distintas (múltiplos testes diários de VETT – 35 pacientes; ventilação mandatória intermitente sincronizada (SIMV) – 43 pacientes; ventilação com pressão de suporte (PSV) – 31 pacientes), demonstraram maior sucesso de desmame com PSV (77% para PSV, 58% para SIMV, 57% para VETT;  $p = 0,05$ ). O tempo de VM também foi menor ( $p < 0,05$ ), bem como o tempo de hospitalização na UTI ( $p < 0,01$ ) com o uso do modo PSV. Não houve diferença quanto a taxas de mortalidade, mas a presença de doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) caracterizou-se como o maior indicador de falha e lentidão no processo de desmame. ESTEBAN et al. (1995), estudando 113 pacientes randomizados em 4 grupos (múltiplos testes de VETT – 33 pacientes; VETT único diário – 31 pacientes; SIMV – 29 pacientes; PSV – 37 pacientes), demonstraram maior sucesso no desmame com emprego da VETT (2,83 vezes mais rápido que SIMV e 2,05 vezes mais rápido que PSV). Os preditores de sucesso de desmame foram: idade ( $p < 0,02$ ), duração do suporte ventilatório antes do início do desmame ( $p < 0,005$ ) e técnica de desmame ( $p = 0,006$ ).

Ressalta-se que o teste único diário com tubo T consiste no método preferencial devido a sua facilidade de aplicação e interpretação dos resultados, além do cumprimento do tempo mínimo preconizado para repouso da musculatura respiratória fatigada - 12 a 24 horas. Este, teoricamente, preenche os três princípios do programa de condicionamento muscular: aplicação de carga a musculatura, ação específica nos músculos respiratórios e reversibilidade do processo pelo repouso muscular em tempo adequado (ROCHESTER, 1988).

A partir destes dados, tem sido demonstrada a eficiência da aplicação da VETT como forma de desmame, estimando-se uma taxa de sucesso de 77% (MacINTYRE et al, 2001/2002). A duração do teste de VETT varia de 5 minutos a 24 horas, conforme os autores. Na maioria dos relatos é sugerido um mínimo de 30 e um máximo de 120 minutos, com o respaldo teórico de tratar-se de um período suficiente e com adequada sensibilidade e especificidade

(MacINTYRE et al, 2001/2002). ESTEBAN et al, (1999), estudando 256 pacientes randomizados para 30 ou 120 minutos de teste único diário com VETT, demonstrou taxas semelhantes de sucesso na extubação (75,9% vs. 73%), de reintubação (13,5% vs 13,4%) e de mortalidade hospitalar (13% vs 9%). O consenso do *American College of Chest Physicians/American College of Critical Care Medicine* (MacINTYRE et al, 2001/2002), recomenda um teste com VETT com duração de 30 a 120 minutos como primeira opção para todos os pacientes candidatos a desmame do suporte ventilatório. Também é recomendada a retirada da prótese respiratória para todos aqueles que tolerarem, na ausência de sinais clínicos de fadiga respiratória, o teste de VETT (Grau de evidência: A).

A ventilação não invasiva (VNI) tem sido utilizada como técnica de desmame em pacientes portadores de DPOC (Grau de evidência: B) (MEHTA E HILL, 2001; LIESCHING et al, 2003). Nava et al. (1998), avaliando 50 pacientes randomizados para desmame com VNI ou PSV, demonstraram maiores taxas de sucesso de extubação (88% vs. 68%;  $p < 0,05$ ), menor tempo de VM (10 dias vs. 16 dias;  $p < 0,05$ ) e maior sobrevida (92% vs. 72%) no grupo randomizado para VNI. GIRAULT et al. (1999) demonstraram redução do tempo total de VM (7 dias vs. 16 dias;  $p = 0,0001$ ) no grupo randomizado para VNI, quando comparado ao grupo randomizado para VETT.

### **3. OS PREDITORES DE SUCESSO NO DESMAME**

A literatura ainda não apresenta consenso de quais parâmetros clínicos, ventilatórios, hemodinâmicos ou fisiológicos devem ser aplicados como preditores de sucesso de desmame (ELY et al, 2001; MEADE et al, 2001). Sabe-se que a descontinuação formal do suporte ventilatório é conveniente para todos os pacientes que preenchem os critérios previamente descritos e que um breve período de VETT deve ser aplicado para avaliar a real capacidade ventilatória, adequação das trocas gasosas, estabilidade hemodinâmica e conforto subjetivo do paciente. O quadro 3 descreve os critérios clínicos usados para definir tolerância ao teste de VETT.

Quadro 3: Critérios para tolerância ao teste de ventilação espontânea com tubo T.

Adequação das trocas gasosas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- SpO<sub>2</sub> &gt; 85 – 90%</li> <li>- pO<sub>2</sub> &gt; 50 – 60 mmHg</li> <li>- pH &gt; 7,32</li> </ul>
Estabilidade hemodinâmica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento do pCO<sub>2</sub> inferior a 10 mmHg</li> <li>- Frequência cardíaca &lt; 120 – 140 bpm</li> <li>- Aumento da frequência cardíaca inferior a 20% do basal</li> <li>- PAS* &lt; 180 – 200 mmHg e &gt; 90 mmHg</li> <li>- Variação de PAM** inferior a 20% do basal</li> </ul>
Padrão respiratório adequado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frequência respiratória &lt; 30 – 35 mrpm</li> <li>- Variação da frequência respiratória inferior a 50% da basal</li> </ul>
Estado mental adequado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausência de sonolência, agitação ou ansiedade</li> </ul>
Conforto subjetivo do paciente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausência de sinais de desconforto</li> <li>- Ausência de sudorese</li> <li>- Ausência de sinais de aumento do trabalho respiratório (uso da musculatura respiratória acessória ou presença de respiração paradoxal)</li> </ul>

\* Pressão arterial sistólica

\*\* Pressão arterial média

Já que todos os preditores clínicos são sabidamente manifestações tardias de falha de desmame e já representam sintomas de fadiga muscular respiratória, foram estudados e desenvolvidos parâmetros ventilatórios e hemodinâmicos, com intuito de elevar a capacidade preditiva do teste de VETT (quadro 4).



Quadro 4: Parâmetros clínicos, ventilatórios, hemodinâmicos e fisiológicos para predição do desmame da ventilação mecânica invasiva\*.

Clínicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frequência respiratória</li> <li>- Frequência cardíaca</li> <li>- Pressão arterial sistêmica</li> <li>- Assincronia tóraco-abdominal</li> <li>- Presença de sudorese</li> </ul>
Ventilatórios	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volume minuto</li> <li>- Volume de ar corrente</li> <li>- Pressão inspiratória máxima</li> <li>- Pressão expiratória máxima</li> <li>- Pressão de oclusão das vias aéreas (<math>P_{0.1}</math>)**</li> <li>- Complacência dinâmica (<math>C_{din}</math>)</li> <li>- Resistência das vias aéreas</li> <li>- Taxa de fluxo inspiratório</li> <li>- Fração inspirada de oxigênio</li> <li>- <math>PaO_2/PAO_2</math></li> </ul>
Hemodinâmicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tonometria gástrica ***</li> <li>- Índice cardíaco</li> <li>- Pressão de oclusão da artéria pulmonar</li> <li>- Níveis séricos de Hemoglobina</li> </ul>
Combinados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Índice de respiração superficial (<math>f/V_T</math>) “</li> <li>- Produto pressão-tempo (TTdi)</li> <li>- Índice de CROP “”</li> <li>- Escore SAPS (Escore fisiológico agudo simplificado)</li> <li>- Escore APACHE II (Escore de avaliação fisiológica aguda e crônica de saúde)</li> <li>- <math>P_{0.1} / P_{I_{máx}}</math></li> </ul>
Fisiológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medidas de trabalho respiratório</li> <li>- Medidas de consumo de oxigênio</li> </ul>

\* Todos os parâmetros podem ser medidos em ventilação espontânea ou com suporte ventilatório invasivo.

\*\* A  $P_{0.1}$  representa a pressão das vias aéreas medida nos primeiros 100 milissegundos da inspiração, contra uma via aérea ocluída. Está na dependência da interação entre os quimiorreceptores centrais e os motoneurônios periféricos e é mensurada por equipamentos

específicos. Avalia o estímulo central respiratório ( $P_{0.1}$  referência para desmame  $< 2$  cm  $H_2O$ ). (JUBRAN E TOBIN, 1998).

\*\*\* A tonometria gástrica consiste na mensuração do pH da mucosa do estômago através da leitura da pressão do  $CO_2$  de uma solução contida num balão semipermeável acoplado a uma sonda nasogástrica própria e que permaneceu durante um determinado tempo em contato com a parede gástrica equilibrando-se tonometricamente com o  $CO_2$  intramucoso (BROWN E GUTIERREZ, 1998).

“ O  $f/V_T$  é a razão da FR pelo VAC (medido em litros) durante 1 minuto de VETT. É a representação numérica do desenvolvimento do padrão ventilatório adaptativo chamado de “respiração rápida superficial” ( $f/V_T$  referência para desmame  $< 105$ ) (YANG et al, 1991).

“” O índice de CROP incorpora para o seu cálculo medidas de trocas gasosas, demandas do sistema respiratório e capacidade da musculatura respiratória. É representado pela fórmula:  $C_{din} \times P_{I_{max}} \times (paO_2/PAO_2) / FR$ ; onde  $C_{din}$  refere-se à complacência dinâmica,  $P_{I_{max}}$  corresponde à pressão inspiratória máxima,  $paO_2/PAO_2$  corresponde ao coeficiente de oxigenação e FR, a frequência respiratória (índice de CROP referência para desmame  $> 13$ ) (YANG et al, 1989).

Uma meta-análise (MEADE et al, 2001) avaliou todos os parâmetros de predição de desmame, selecionando os 65 estudos com metodologia científica mais adequada. Quando divididos, 41 artigos aplicavam-se a populações heterogêneas de UTIs gerais, 6 a portadores de DPOC e 16 a UTIs específicas para pós-operatório de doenças cardiovasculares. O quadro 5 resume os achados da meta-análise.

Quadro 5: Preditores de desmame ventilatório e grupos populacionais.

Populações heterogêneas	Parâmetros
Preditores de desmame avaliados em PSV	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>f/V_T &lt; 65</math></li> <li>- <math>TTdi &lt; 275 \text{ cmH}_2\text{O/L/seg}</math></li> <li>- <math>FR &lt; 38 \text{ mrpm}</math></li> <li>- Índice de CROP <math>&gt; 13</math></li> </ul>
Preditores de desmame avaliados com VETT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>f/V_T &lt; 105</math></li> <li>- <math>FR &lt; 35 \text{ mrpm}</math></li> <li>- <math>IRS \times P_{0,1} &lt; 450 \text{ cmH}_2\text{O/mrpm/L}</math></li> <li>- <math>PI_{\text{máx}} &lt; - 20 \text{ cmH}_2\text{O}</math></li> </ul>
Preditores de extubação avaliados com VETT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>f/V_T &lt; 100 - 105</math></li> <li>- <math>FR &lt; 38 \text{ mrpm}</math></li> <li>- <math>PI_{\text{máx}} &lt; - 30 \text{ cmH}_2\text{O}</math></li> <li>- Escore APACHE II</li> </ul>
Preditores de desmame e extubação avaliados com VETT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Duração da VM antes do desmame</li> <li>- <math>f/V_T &lt; 100</math></li> <li>- <math>FR &lt; 38 \text{ mrpm}</math></li> <li>- <math>VAC &gt; 4 \text{ ml/Kg}</math></li> <li>- <math>PI_{\text{máx}} &lt; - 20 \text{ cmH}_2\text{O}</math></li> <li>- <math>P_{0,1} &lt; 5.0 \text{ cmH}_2\text{O}</math></li> <li>- <math>P_{0,1} / PI_{\text{máx}}</math></li> </ul>
DPOC	Parâmetros
Preditores de desmame avaliados em PSV	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>pO_2 / FIO_2</math></li> </ul>
Preditores de desmame avaliados em VETT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>f/V_T &lt; 100</math></li> <li>- FR</li> <li>- <math>P_{0,1}</math></li> <li>- <math>pHi &gt; 7,3</math></li> <li>- <math>pCO_2 &lt; 60 \text{ mmHg}</math></li> </ul>

Sabe-se da importância de uma rotina protocolar da UTI (sedação e programa de desmame), da participação de todo o grupo da unidade nas decisões (médicos, enfermeiros, fisioterapeutas) e da experiência no manejo de pacientes

criticamente enfermos em VM (Grau de evidência: A) (KRESS et al, 2000; ELY et al, 2001; MacINTYRE et al, 2001/2002). Mesmo com todos estes cuidados, por que alguns pacientes falham e não toleram o teste de VETT? Qual a influência do padrão respiratório do paciente na falha? Qual a importância do diâmetro do TET? Quanto deve ser o tempo do teste? A maior parte destas questões permanecem sem respostas até o momento e a literatura, apesar de extensa, ainda não permitiu dirimir estas dúvidas. O esforço inspiratório necessário para vencer o TET, as válvulas e o circuito do ventilador pode representar até 50% de todo o gasto energético corporal de pacientes assíncronos com a VM ou fatigados por programas de desmame mal conduzidos (MADOR, 1995; MORLEY et al, 1995; SASSON E MAHUTE, 1998). Inúmeros parâmetros clínicos e ventilatórios já foram testados e nenhum dos critérios isoladamente se mostrou sensível e específico como preditor de tolerância ao teste de VETT e sucesso na extubação (MacINTYRE et al, 2001/2002; MEADE et al, 2001). Como vamos ter a certeza de que nossa extubação obterá o sucesso esperado? Ainda não temos esta segurança. Como vamos extubar e que critérios devemos aplicar? Devido à facilidade de emprego, preconiza-se o emprego de índices integrados, e dentre eles destaca-se o índice de respiração superficial (IRS ou índice de Tobin), o mais citado e aplicado na literatura. Mas, será que é o melhor?

#### **4. EXISTE VANTAGEM EM OPTAR-SE POR PREDITORES DE DESMAME FISIOLÓGICOS AO INVÉS DE PREDITORES CLÍNICOS, TEORICAMENTE MAIS TARDIOS NA DETECÇÃO DA FADIGA MUSCULAR?**

Os preditores clínicos, mais estudados e aplicados na prática clínica diária, apresentam limitações quando seu uso é extrapolado para todas as populações de pacientes críticos. As reduzidas capacidades preditivas estão demonstradas no quadro 6.

Quadro 6: Pontos de corte e acurácia dos índices usados como preditores de desmame (IRWIN E HUBMAYR, 1999).

Índice	Valor	Valor preditivo positivo	Valor preditivo negativo
Volume minuto (L/min)	< 15	0,55	0,38
Frequência respiratória (mrpm)	< 38	0,65	0,77
VAC (ml)	> 325	0,73	0,94
PI <sub>máx</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	< - 15	0,59	1,00
Complacência dinâmica (ml/cmH <sub>2</sub> O)	> 22	0,65	0,58
Complacência estática (ml/cmH <sub>2</sub> O)	> 33	0,60	0,53
paO <sub>2</sub> /FIO <sub>2</sub>	> 350	0,59	0,53
f/V <sub>T</sub>	< 105	0,78	0,95
Índice de CROP	> 13	0,71	0,70

Não satisfeitos com a baixa capacidade preditiva dos parâmetros clínicos, variáveis fisiológicas, teoricamente mais fidedignas, passaram a ganhar espaço nas publicações. Ressalta-se aqui, a avaliação do pHi e das medidas de trabalho respiratório através do gasto energético respiratório ou pelo diagrama de Campbell.

#### **Avaliação das medidas de tonometria gástrica**

As técnicas de tonometria inicialmente foram aplicadas na monitorização do sofrimento intestinal durante cirurgias vasculares de aorta, após ganharam importância na detecção de sofrimento intestinal em pacientes com choque séptico (BROWN E GUTIERREZ, 1998). É uma técnica de fácil utilização e aplicabilidade, já que tem caráter minimamente invasivo e oferece dados de fácil interpretação, além de detectar precocemente os sinais regionais de isquemia intestinal – órgão principal na perpetuação da síndrome da disfunção múltipla de órgãos (VINCENT, 1998). Já foi utilizado com objetivo terapêutico na ressuscitação da síndrome séptica (GUTIERREZ et al, 1992) e com objetivo de predição de mortalidade (DOGLIO et al, 1991).

A tonometria gástrica consiste na mensuração do pH da mucosa intestinal (gástrica) através da leitura da pressão do CO<sub>2</sub> de uma solução contida num balão semipermeável acoplado a uma sonda nasogástrica apropriada. Esta solução permanece durante 30 a 60 minutos em contato com a parede gástrica equilibrando-se tonometricamente com o CO<sub>2</sub> intramucoso. A leitura da pCO<sub>2</sub> do balão eqüivale-se a pCO<sub>2</sub> intramucoso e traduz, quando elevado, sofrimento isquêmico intestinal. Através da aplicação da equação de *Henderson-Hasselbalch* obtêm-se o valor do pHi (FIDDIAN-GREEN, 1995; BROWN E GUTIERREZ, 1998).

MOHSENFAR et al. (1993) demonstraram em 29 pacientes que àqueles intolerantes ao desmame apresentavam queda do pHi durante os 30 minutos iniciais o teste de VETT, comparado a manutenção da estabilidade do pHi nos extubados com sucesso (7,09 vs. 7,46; p = 0,01). BOUACHOUR et al. (1996) avaliou 36 pacientes portadores de DPOC e encontrou valores de pHi < 7,30 e pCO<sub>2muc</sub> > 60 mmHg naqueles que falharam no desmame, comparados a valores de pHi > 7,30 e pCO<sub>2muc</sub> < 60 mmHg naqueles com sucesso no desmame (p < 0,001). BOCQUILLON et al. (1999), estudando 16 pacientes portadores de DPOC, avaliou parâmetros hemodinâmicos, gasométricos globais e regionais do intestino e demonstrou que a pCO<sub>2muc</sub> foi capaz de discriminar os pacientes com sucesso daqueles com fracasso no desmame (pCO<sub>2muc</sub> = 52 ± 2 vs. pCO<sub>2muc</sub> = 61 ± 2; p < 0,05), quando avaliados após 2 horas de VETT.

Acredita-se que a redução do pHi consista num sinal precoce de falha do desmame ventilatório devido à diversão de fluxo sanguíneo do intestino em prol da manutenção da irrigação dos músculos respiratórios, que pelo consumo energético exagerado, necessitam maior conteúdo global de oxigênio, o que gera acidose da mucosa gástrica (BROWN E GUTIERREZ, 1998). Restrições existem quanto ao uso da tonometria na predição de sucesso ou fracasso de desmame, devido ao tamanho amostral dos trabalhos e à quase totalidade das populações estudadas terem sido compostas por DPOC.

### **Avaliação do trabalho respiratório pelo gasto energético e consumo de oxigênio**

A avaliação do trabalho metabólico da musculatura respiratória ou o consumo de oxigênio respiratório –  $VO_{2\text{resp}}$  – é estimado pela diferença ( $\Delta VO_2$ ) no consumo de oxigênio corporal global entre a ventilação espontânea (em repouso) e quando o paciente está completamente relaxado em ventilação mecânica (TOBIN, 1998). O  $VO_{2\text{resp}}$  representa uma pequena fração do  $VO_2$  corporal total e, portanto, sua medida acurada não é fácil, sendo facilmente alterada por  $FIO_2$  elevadas e atividade muscular miocárdica exagerada (SASSOON E MAHUTE, 1998). Em indivíduos normais, o  $VO_{2\text{resp}}$  varia entre 0,25 – 2,5 ml/L, isto se aproxima a 5% do  $VO_2$  corporal total, porém pode alcançar até 50% do  $VO_2$  corporal total nos casos de DPOC com fadiga respiratória eminente (SHINDOH et al, 1994; RIBEIRO, 1995).

Os resultados da aplicação das medidas de consumo de oxigênio na predição de sucesso do desmame ventilatório ainda são conflitantes. LEWIS et al. (1988), estudando 30 pacientes em processo de desmame da VM, demonstraram maior  $VO_{2\text{resp}}$  nos casos de falha (25% do  $VO_2$  total vs. 8% do  $VO_2$  total). SHIKORA et al. (1994), em 28 pacientes, concluíram que um  $VO_{2\text{resp}}$  inferior a 15% do  $VO_2$  corporal total constituía um bom preditor de desmame. Já KEMPER et al. (1987) e HUBMAYR et al. (1988) não foram capazes de demonstrar tais diferenças.

Os resultados inconsistentes dos estudos e as dificuldades técnicas de interpretação dos dados tornaram as medidas de gasto energético impraticáveis na prática clínica diária.

### **Avaliação do trabalho respiratório pelo diagrama de Campbell**

Este método tem ganhado espaço na literatura intensiva, graças a sua praticidade de leitura e facilidade de aplicação. A interpretação do diagrama de Campbell ou através da análise da curva pressão-volume, realizada instantaneamente pelos modernos aparelhos microprocessados, permite a subdivisão do trabalho respiratório (W) e conseqüente adequada análise clínica.

Na física, o trabalho mecânico é igual ao produto da força pelo deslocamento. No caso do sistema respiratório, o trabalho traduz-se pelo produto da pressão exercida pela variação do volume no sistema (SASSOON E MAHUTE, 1998). A área derivada do somatório integral de todos os valores das curvas inspiratória e expiratória representa o trabalho respiratório (figura 1).

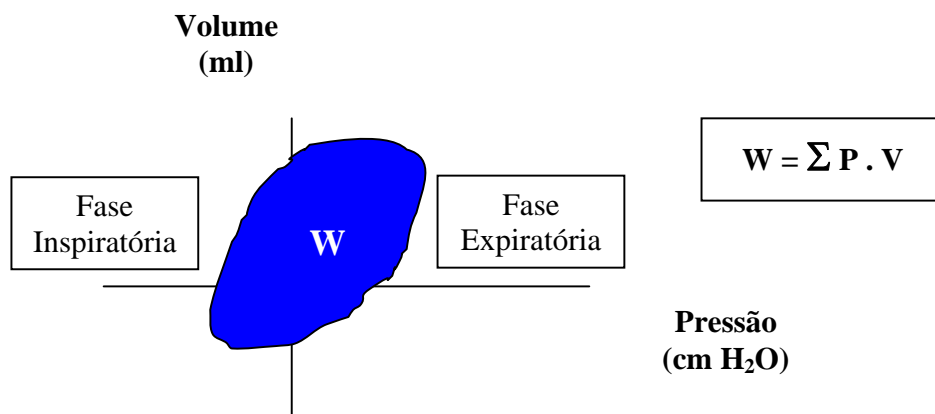


Figura 1: Representação gráfica do W, definido como o somatório dos valores de pressão e volume durante um ciclo respiratório completo (inspiração e expiração). A área colorida representa o trabalho respiratório total durante este ciclo. A fórmula do trabalho respiratório é demonstrada ao lado da figura, onde W corresponde ao trabalho respiratório, P a pressão do sistema e V ao volume de ar deslocado.

O trabalho respiratório do paciente sob suporte ventilatório é composto pelo trabalho fisiológico e pelo trabalho imposto pelo aparato de ventilação. O trabalho fisiológico inclui o trabalho elástico ( $W_{el}$  – trabalho necessário para superar as forças elásticas pulmonares e da caixa torácica), o trabalho fluxo-resistivo ( $W_{res}$  – trabalho necessário para superar a resistência das vias aéreas e dos tecidos pulmonares ao fluxo de ar) e o trabalho inercial (trabalho negligenciável quando comparado aos dois anteriores). Em indivíduos normais, sob suporte ventilatório, os valores do trabalho fisiológico variam de 0,3 a 0,6 J/L



(BANNER et al, 1994; LEVY et al, 1995). O trabalho imposto pelo aparato ventilatório refere-se aquele necessário para superar o tubo endotraqueal, o circuito e as válvulas do ventilador mecânico constituindo-se, portanto, num trabalho fluxo-resistivo adicional.

O  $W$  também pode ser avaliado separadamente durante a fase inspiratória ou expiratória, durante a ventilação passiva (trabalho realizado pelo ventilador mecânico -  $W_{vm}$ ) ou ativa (trabalho realizado pelo paciente). Pode-se, portanto, conforme o sítio de medida da pressão, estimar o trabalho exercido por cada um dos componentes de forma isolada (figura 2 e quadro 7).

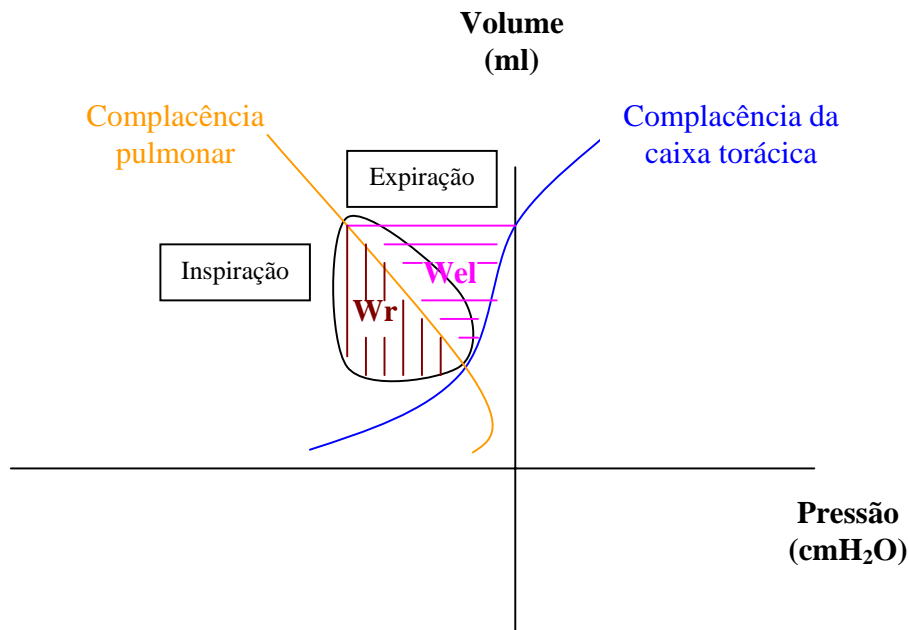


Figura 2: Representação gráfica (diagrama de Campbell) da subdivisão do trabalho respiratório. A complacência pulmonar é determinada pela leitura da pressão esofágica obtida através de um balão esofágico (estimativa indireta da pressão pleural). A complacência da caixa torácica é estimada pela subtração da complacência de todo o sistema respiratório (estimado pela pressão de platô lida no ventilador mecânico) pela pressão esofágica. A área triangular demarcada por linhas horizontais (entre as curvas de complacência pulmonar e da caixa torácica) representa o  $W_{el}$  necessário para expandir os pulmões da capacidade residual funcional até um novo volume de ar corrente pré-definido. Esta medida somente é fidedigna quando realizada com o paciente sedado e paralisado. A área demarcada por linhas verticais representa o  $W_{res}$  necessário para que o ar ultrapasse as vias aéreas do paciente e o aparato ventilatório presente (tubo endotraqueal, circuito e válvulas do ventilador) durante a inspiração. A modificação de uma das áreas pré-definidas indica modificação de  $W$  elástico ou fluxo-resistivo. Isto pode ocorrer devido a alterações na curva de trabalho ou nas curvas de complacência (SHAPIRO E KACMARECK, 1998).

Quadro 7: Relação entre o sítio de medida da pressão e do modo de ventilação com o tipo de trabalho respiratório (BANNER et al, 1994).

Sítios de medida de pressão e modos de ventilação	Medida de trabalho (área da curva)	Medida da curva
$P_{es}^*$ durante ventilação espontânea	$W_{res}^{**}$ pulmonar	Complacência dinâmica pulmonar
Pressão esofágica durante ventilação mecânica	$W_{res}^{**}$ da caixa torácica	Complacência da caixa torácica
Pressão carinal*** durante ventilação espontânea	$W_{res}^{**}$ imposto pelo aparato ventilatório (exceto TET)	Complacência do aparato ventilatório (exceto TET)
Pressão carinal*** durante ventilação mecânica	$W_{res}^{**}$ do sistema respiratório“ (exceto TET)	Complacência do sistema respiratório (exceto TET)
$P_{avs}^{''''}$ em ventilação espontânea	$W_{res}^{**}$ imposto pelo aparato respiratório	Complacência do aparato ventilatório
$P_{avs}^{''''}$ em ventilação mecânica	$W_{res}^{**}$ imposto pelo aparato respiratório	Complacência do sistema respiratório

\*  $P_{es}$  = Pressão esofágica (estimativa indireta da pressão intrapleural).

\*\*  $W_{res}$  = Trabalho fluxo-resistivo. Quando há descrito aparato ventilatório, significa: tubo endotraqueal, circuito e válvulas do ventilador mecânico.

\*\*\* Na medida da pressão carinal, o pneumotacógrafo está localizado ao nível traqueal ou na porção distal do tubo endotraqueal.

“ Sistema respiratório = pulmões + caixa torácica

'''' Na medida da pressão de abertura das vias aéreas, o pneumotacógrafo está localizado entre o Y do circuito do ventilador e o TET.

Monitores computadorizados de mecânica respiratória permitem a interpretação imediata dos dados coletados, permitindo sua aplicação à beira do leito. Dentre os mais conhecidos encontram-se o BICORE CP-100 (Bicore Monitoring Systems, Irvine, CA) e o VENTRAK (Novamatrix Medical Systems, Wallingford, CT) (TOBIN, 1998; ROSKE et al, 1998; WENZEL et al, 1999; MANALIGOD et al, 2000; CHOW et al, 2002).

Na revisão da fisiologia pulmonar, as medidas do trabalho expiratório e do trabalho inspiratório inercial apresentam mínima importância clínica quando comparadas aos demais. Cabe ressaltar que nos pacientes sob suporte ventilatório invasivo, o  $W$  deve sempre ser subdividido:  $W$  exercido pelo respirador mecânico e  $W$  exercido pela musculatura respiratória. Isto é possível com a medida simultânea da pressão das vias aéreas e da pressão intrapleurar, estimada fidedignamente pela medida da pressão esofágica (SASSOON E MAHUTE, 1998). A estimativa do trabalho da musculatura respiratória caracteriza-se como a medida ideal da força e *endurance* muscular, ambos precursores e preditores do desenvolvimento da fadiga muscular (MacINTYRE, 2000).

A unidade de trabalho respiratório é o joule (J), que é a energia necessária para mover um litro de gás num gradiente de pressão de 10 cmH<sub>2</sub>O (VIEIRA et al, 2000). Este pode ser mensurado em joules por litro (J/L) ou joules por minuto (J/min). A medida por minuto é calculada pela multiplicação do valor do trabalho de um ciclo ventilatório pela FR e correlaciona-se melhor com a ventilação minuto. A medida por litro é a razão do valor do trabalho em 1 minuto pela ventilação minuto e correlaciona-se melhor com a complacência pulmonar e a resistência das vias aéreas (FLEURY et al, 1985). Os valores considerados normais são até 0,47 J/L ou 3,9 J/min (TOBIN, 1998). Valores maiores são compatíveis com excesso de esforço muscular com conseqüente fadiga dos músculos respiratórios. Medidas acuradas das subdivisões do  $W$  são essenciais para o diagnóstico das causas e mecanismos de falha no desmame, podendo a partir de seus achados, a instituição de medidas específicas e protocolos adequados para os pacientes dependentes do suporte ventilatório invasivo.

Alguns investigadores têm examinado a utilidade das medidas de  $W$  na predição de dependência de VM e sucesso de desmame (quadro 8).

Quadro 8: Autores que descreveram o trabalho respiratório na predição de sucesso ou falha no desmame.

Estudo	Tamanho amostral	Sucesso de desmame	Falha de desmame	P*
PETERS (1972)	18	< 9,8 J/min < 0,98 J/L	> 9,8 J/min > 0,98 J/L	-
PROCTOR (1973)	168	< 13,2 J/min	> 13,2 J/min	< 0,05
HENNING (1977)	28	< 9,8 J/min	> 16,6 J/min	< 0,001
FIASTRO (1988)	17	< 15,7 J/min < 1,27 J/L	> 15,9 J/min	< 0,05
HUBMAYR (1988)	10	< 9,12 J/min	> 11,98 J/min	0,02
LEVY (1995)	24	< 0,75 J/L	-	-
KIRTON (1995)	28	< 0,8 J/L	> 0,8 J/L	0,44

\* Nível de significância

Todos os investigadores, exceto KIRTON et al. (1995), demonstraram que o W mensurado durante um teste de VETT é mais elevado nos pacientes com falha no processo de desmame. Os valores discriminatórios são muito variáveis e foram determinados após a avaliação dos dados da pesquisa. Nenhum dos autores estudou de forma randômica ou prospectiva a capacidade preditiva do W no desmame ventilatório. Salieta-se também que os valores foram extraídos a partir de períodos curtos de avaliação (dados pontuais), sem acompanhamento da sua evolução no decorrer do tempo.

KIRTON et al. (1995) demonstraram que aproximadamente 80% do W era devido ao trabalho imposto pelo aparato ventilatório e não ao trabalho fisiológico. O W foi útil na definição da taquipnéia durante o teste de VETT que era secundária a presença do aparato ventilatório e não a fadiga da musculatura respiratória em si.

As medidas de trabalho respiratório parecem predizer com relativa acurácia a possibilidade de dependência ou não do suporte ventilatório, porém os poucos estudos e a heterogeneidade das populações ainda não permitem conclusões definitivas sobre seu emprego em larga escala. Os achados nos

sugerem, no entanto, que quanto maior o tempo de ventilação espontânea com tubo T, maior a chance de falha de desmame e extubação, pois a presença do tubo endotraqueal provavelmente aumenta a resistência das vias aéreas e também o trabalho respiratório (SHAPIRO et al, 1986; KRIEGER et al, 1988; HABIB et al, 1989; KAPLAN et al, 1991; ISHAAYA et al, 1995).

## **HIPÓTESES**

---

1. O Índice de Respiração Superficial (IRS) é um bom preditor de desmame da ventilação mecânica invasiva.
2. O trabalho respiratório aumenta em associação com o tempo de ventilação espontânea com tubo T.
3. O trabalho respiratório é um bom preditor de desmame da ventilação mecânica invasiva.

---

## **OBJETIVOS**

1. Avaliar se o Índice de Respiração Superficial é um bom preditor de desmame da ventilação mecânica invasiva.
2. Avaliar se o tempo de ventilação espontânea com tubo T aumenta o trabalho realizado pela musculatura respiratória.
3. Avaliar se medidas contínuas do trabalho respiratório têm capacidade preditiva no desmame da ventilação mecânica invasiva.



---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aldrich TK, Prezant DJ. Indications for mechanical ventilation. In: Tobin MJ. Principles e practice of mechanical ventilation. New York: McGraw-Hill; 1994:155-189.
2. Banner MJ, Jaeger MJ, Kirby RR. Components of the work of breathing and implications for monitoring ventilator-dependent patients. Crit.Care Med; 1994, 22:515-523.
3. Bocquillon N, Mathieu D, Neviere R, et al. Gastric mucosal pH and Blood flow during weaning from mechanical ventilation n patients with chronic obstructive pulmmary disease. Am.J.Respir.Crit.Care Med; 1999, 160:1555-1561.
4. Bouachour G, Guiraud MP, Gouello JP, et al. Gastric intramucosal pH: as indicator of weaning outcome from mechanical ventilation in COPD patients. Eur.Respir.J; 1996, 9:1868-1873.
5. Brochard L, Rauss A, Benito S, et al. Comparison of three methods of gradual withdrawing from ventilatory support during weaning from mechanical ventilation. Am.J.Crit.Care Med; 1994, 150:896-903.
6. Brochard L. Low versus high tidal volumes. In: Marini JJ, Evans TW. Acute lung injury. New York: Springer; 1997:276-281.
7. Brown SD, Gutierrez G. Gut mucosal pH monitoring. In: Tobin MJ. Priciples and practice of intensive care monitoring. New York: McGraw-Hill; 1998:351-368.
8. Cohen C, Zagenbaum G, Gross D, et al. Clinical manifestations of inspiratory muscle fatigue. Am.J.Med; 1982, 73:308-316.
9. Chow LC, Vanderhal A, Raber J, et al. Are tidal volume measurements in neonatal pressure-controlled ventilation accurate? Pediat.Pulm; 2002, 34:196-202.

10. Doglio GR, Pusajo JF, Egurrola MA. Gastric mucosal pH as a prognostic index of mortality in critically ill patients. *Crit.Care Med*; 1991, 19:1037-1040.
11. Ely EW, Baker AM, Evans GW, et al. The prognostic significance of passing a daily screen of breathing spontaneously. *NEJM*; 1999, 25:581-587.
12. Ely EW, Meade MO, Haponik EF, et al. Mechanical ventilator weaning protocols driven by nonphysicians health-care professionals: Evidence-based clinical practice guidelines. *Chest*; 2001, 120:454S-463S.
13. Esteban A, Alia O, Ibanez J, and the Spanish Lung Failure Collaborative Group. Modes of mechanical ventilation and weaning - a national survey of Spanish hospitals. *Chest*; 1994, 106:1188-1193.
14. Esteban A, Frutos F, Tobin MJ, and the Spanish Lung Failure Collaborative Group. A comparison of four methods of weaning patients from mechanical ventilation. *NEJM*; 1995, 332:345-350.
15. Esteban A, Alia I, Gordo F, et al. Extubation outcome after spontaneous breathing trials with T-tube or pressure support ventilation: the Spanish Lung Failure Collaborative Group. *Am.J.Respi.Crit.Care Med*; 1997, 156:459-465.
16. Esteban A, Alia I, Tobin MJ, et al. Effect of spontaneous breathing trial duration on outcome of attempts to discontinue mechanical ventilation: the Spanish lung failure collaborative group. *Am.J.Respi.Crit.Care Med*; 1999, 159:512-518.
17. Epstein SK, Ciubotaru RL, Wong JB. Effect of failed extubation on the outcome of mechanical ventilation. *Chest*; 1997, 112:186-192.
18. Epstein SK, Ciubotaru RL. Independent effects of etiology of failure and time to reintubation on outcome for patients failing extubation. *Am.J.Respir.Crit.Care Med*; 1998, 158:489-493.
19. Fagon JY, Chastre J, Hance AJ, et al. Nosocomial pneumonia in ventilated patients: a cohort study evaluation attributable mortality and hospital stay. *Am.J.Med*; 1993, 94:281-288.

20. Fleury B, Murciano D, Talamo C. Work of breathing in patients with chronic obstructive pulmonary disease in acute respiratory failure. *Am.Ver.Respir.Dis*; 1985, 131:822-827.
21. Fiasro JF, Habib MP, Shon BY, et al. Comparison of standard weaning parameters and the mechanical work of breathing in mechanically ventilated patients. *Chest*; 1988, 94:232-238.
22. Fiddian-Green, RG. Gastric intramucosal pH, tissue oxygenation and acid-base balance. *Br.J.Anaesth*; 1995, 74:591-606.
23. Girault C, Daudenthun I, Chevron V, et al. Noninvasive mechanical ventilation as a systematic extubation and weaning technique in acute-on-chronic respiratory failure: a prospective, randomized controlled trial. *Am.J.Respir.Crit.Care Med*. 1999; 160:86-92.
24. Goldstone JC, Green M, Moxham J. Maximum relaxation rate of the diaphragm during weaning from mechanical ventilation. *Thorax*; 1994, 49:54-60.
25. Golçalves JL. Indicações para ventilação mecânica. In: Carvalho CRR. *Ventilação mecânica – volume 1*. São Paulo: Atheneu; 2000:57-68.
26. Gutierrez G, Palizas F, Doglio GR. Gastric intramucosal pH as a therapeutic index of tissue oxygenation in critically ill patients. *Lancet*; 1992, 339:195-199.
27. Henning RJ, Shubin H, Weil MH. The measurement of the work of breathing for the clinical assessment of ventilator dependence. *Crit.Care Med*; 1977, 5:264-268.
28. Hubmayr RD, Loosbrock LM, Gillespie DJ, et al. Oxygen uptake during weaning from mechanical ventilation. *Chest*; 1988, 94:1148-1155.
29. Irwin RS, Hubmayr RD. Mechanical ventilation: Weaning. In: Irwin RS, Cerra FB, Rippe JM. *Intensive care medicine*. Philadelphia: Lippincott-Raven; 1999:742-754.
30. Ishaaya AM, Nathan SD, Belman MJ. Work of breathing after extubation. *Chest*. 1995; 107:204-209.

31. Jubran A, Tobin MJ. Discontinuation of ventilatory support. In: Marini JJ, Slutsky AS. Physiological basis of ventilatory support. New York: Marcel Dekker; 1998:1283-1313.
32. Kemper M, Weissman C, Askanazi J, et al. Metabolic and respiratory changes during weaning from mechanical ventilation. *Chest*; 1987, 92:979-983.
33. Kirton OC, DeHaven B, Morgan JP, et al. Elevated imposed work of breathing masquerading as ventilator weaning intolerance. *Chest*; 1995, 108:1021-1025.
34. Kress JP. Daily interruption of sedative infusions in critically ill patients undergoing mechanical ventilation. *NEJM*; 342: 1471-1477; 2000.
35. Levy MM, Miyasaki A, Langston D. Work of breathing as a weaning parameter in mechanically ventilated patients. *Chest*; 1995, 108:1018-1020.
36. Liesching T, Kwok H, Hill NS. Acute applications of noninvasive positive pressure ventilation. *Chest*; 2003, 124:699-713.
37. Lodato RF. Oxygen toxicity. In: Tobin MJ. Principles e practice of mechanical ventilation. New York: McGraw-Hill; 1994:837-855.
38. Mador MJ. Work of breathing measurements. *Chest*; 1995, 108:893-894.
39. MacIntyre NR. Goldilocks and ventilatory muscle loading. *Crit.Care Med*; 2000, 28:588-599.
40. MacIntyre NR, Cook DJ, Ely EW, et al. Evidence-based guidelines for weaning and discontinuing ventilatory support – A collective task force facilitated by the American College of Chest Physicians; the American Association for Respiratory Care; and the American College of Critical Care Medicine. *Chest*; 2001, 120:375A-395A / *Respir.Care*; 2002, 47:69-90.
41. Manaligod JM, Bendel-Stenzel EM, Meyers PA, et al. Variations in end-expiratory pressure during partial liquid ventilation. *Chest*; 2000, 117:184-190.

42. Marini JJ. Bedside estimation of the inspiratory work of breathing during mechanical ventilation. *Chest*; 1986, 89: 56-63.
43. Meade MO, Guyatt G, Cook D, et al. Predicting success in weaning from mechanical ventilation. *Chest*; 2001, 120:400S-424S.
44. Mehta S, Hill NS. Noninvasive ventilation. *Am.J.Respir.Crit.Care Med.* 2001; 163:540-577.
45. Mohsenifar Z, Hay A, Hay J, et al. Gastric intramural pH as a predictor of success or failure in weaning patients from mechanical ventilation. *Ann.Intern.Med*; 1993, 119:794-798.
46. Morley PT. Work of breathing. *Int.Care World*; 1995, 11:117-121.
47. Nathan SD, Ishaaya AM, Koerner SK, et al. Prediction of minimal pressure support during weaning from mechanical ventilation. *Chest*. 1993; 103:1215-1219.
48. Nava S, Ambrosino N, Clini E. Noninvasive mechanical ventilation in the weaning of patients with respiratory failure due to chronic obstructive pulmonary disease: a randomized, controlled trial. *Ann.Intern.Med.* 1998; 128:721-728.
49. Peters RM, Hilberman M, Hogan JS, et al. Objective indications for respiratory therapy in post trauma and postoperative patients. *Am.J.Surg*; 1972, 124:262-269.
50. Pierson DJ. Barotrauma and bronchopleural fistula. In: Tobin MJ. *Principles e practice of mechanical ventilation*. New York: McGraw-Hill; 1994:813-836.
51. Pingleton SK. Complications associated with mechanical ventilation. In: Tobin MJ. *Principles e practice of mechanical ventilation*. New York: McGraw-Hill; 1994:775-792.
52. Proctor HJ, Woolson R. Prediction of respiratory muscle fatigue by measurements of the work of breathing. *Surg.Gynecol.Obstet*; 1973, 136:367-370.

53. Ribeiro JP. Limiares metabólicos e ventilatórios durante o exercício. Aspectos fisiológicos e metodológicos. *Arq.Bras.Cardiol*; 1995, 64:171-181.
54. Rochester DF. Does respiratory muscle rest relieve fatigue or incipient fatigue? *Am.Ver.Respir.Dis*; 1988, 138:516-517.
55. Roske K, Foitzik B, Wauner RR, et al. Accuracy of volume measurements in mechanically ventilated newborns: a comparative study of commercial devices. *J.Clin.Monit.and Comput*; 1998, 14:413-420.
56. Sassoon CSH, Mahute CK. Work of breathing during mechanical ventilation. In: Marini JJ, Slutsky AS. *Physiological basis of ventilatory support*. New York: Marcel Dekker; 1998:261-310.
57. Shapiro M, Wilson RK, Casar G, et al. Work of breathing through different sized endotraqueal tubes. *Crit.Care Med*. 1986; 14:1028-1031.
58. Shapiro RS, Kacmarek RM. Monitoring of the mechanically ventilated patient. In: Marini JJ, Slutsky AS. *Physiological basis of ventilatory support*. New York: Marcel Dekker; 1998:709-782.
59. Shikora AS. The oxygen cost of breathing may predict weaning from mechanical ventilation better than the respiratory rate to tidal volume ratio. *Arch. Surg*; 129: 269-274; 1994.
60. Shindoh C, Hida W, Kikuchi Y, et al. Oxygen consumption of respiratory muscles in patients with COPD. *Chest*; 1994, 105:790-797.
61. Stauffer JL. Complications of translaryngeal intubation. In: Tobin MJ. *Principles e practice of mechanical ventilation*. New York: McGraw-Hill; 1994:711-747.
62. Swartz MA, Marino PL. Diaphragmatic strength during weaning from mechanical ventilation. *Chest*; 1985, 85:736-739.
63. Teixeira PJZ, Balthazar AB. Manejo do paciente com pneumonia associada à ventilação mecânica. In: Silva LCC, Teixeira PJZ. *Doenças respiratórias graves – manejo clínico*. Rio de Janeiro: Revinter; 2003:209-220.

64. Terzi RGG, Carvalho CRR. Histórico da ventilação mecânica. In: Carvalho CRR. Ventilação mecânica – volume 1. São Paulo: Atheneu; 2000:1-30.
65. Tobin MJ, Jubran A, Laghi F. Respiratory muscle fatigue and weaning. In: Marini JJ, Evans TW. Acute lung injury. New York: Springer; 1997:282-298.
66. Tobin MJ, Laghi F. Monitoring of respiratory muscle function. In: Tobin MJ. Principles and practice of intensive care monitoring. New York: McGraw-Hill; 1998:497-544.
67. Tobin MJ. Monitoring respiratory mechanics in spontaneously breathing patients. In: Tobin MJ. Principles and practice of intensive care monitoring. New York: McGraw-Hill; 1998:617-654.
68. Torres A, Serra-Batlles J, Ros E, et al. Pulmonary aspiration of gastric contents in patients receiving mechanical ventilation: the effect of body position. *Ann.Intern.Med*; 1992, 116:540-543.
69. Tremblay LN, Slutsky AS, Dreyfuss D, et al. Ventilator-induced lung injury. In: Marini JJ, Slutsky AS. Physiological basis of ventilatory support. New York: Marcel Dekker; 1998:395-451.
70. Vallverdú I, Calaf N, Subirana M, et al. Clinical characteristics, respiratory functional parameters, and outcome of two-hour T-piece trial in patients weaning from mechanical ventilation. *Am.J.Respir.Crit.Care Med*; 1998, 158:1855-1862.
71. Vieira SRR, Plotnik R, Fialkow L. Monitorização da mecânica respiratória durante a ventilação mecânica. In: Carvalho CRR. Ventilação mecânica – volume 1. São Paulo: Atheneu; 2000:215-252.
72. Vincent JL. The available clinical tools – oxygen-derived variables, lactate, and pHi. In: Sibbald WJ; Messmer K; Fink MP. Tissue oxygenation in acute medicine – Update in intensive care and emergency medicine. Berlin: Springer; 1998:193-203.

73. Wenzel U, Rüdiger M, Wagner MH, et al. Utility of deadspace and capnometry measurements in determination of surfactant-depleted lungs. *Crit.Care Med*; 1999, 27:946-952.
74. Yang KL, Tobin MJ. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *NEJM*; 1991, 324:1445 – 1450.



## **Avaliação seqüencial do Índice de Respiração Superficial na predição do desmame da ventilação mecânica**

Teixeira C, de Leon PP, Brodt SFM, Teixeira PJZ

Unidade de Terapia Intensiva do Pavilhão Pereira Filho e Unidade de Terapia Intensiva Central do Complexo Hospitalar da Santa Casa de Porto Alegre, Brasil

### **Resumo**

**Introdução:** O reduzido desempenho da musculatura respiratória é o principal responsável pela falha no desmame. O paciente que não está apto a tolerar o desmame desenvolve um padrão respiratório tipo respiração rápida superficial, mecanismo precoce de adaptação da musculatura respiratória ao esforço excessivo.

**Objetivo:** Avaliar de forma prospectiva, a acurácia preditiva do índice de respiração superficial (IRS) no sucesso de desmame dos pacientes submetidos ao teste de ventilação espontânea com tubo T (VETT).

**Resultados:** Dos 73 pacientes avaliados, 76,7% toleraram o teste de VETT sendo extubados e 23,3%, por não tolerarem, retornaram imediatamente para VM. Dos 56 pacientes tolerantes ao teste de VETT, 57,4% permaneceram extubados e 21,9% foram reintubados no decorrer das primeiras 48 horas. Houve aumento significativo do IRS nos primeiros 30 minutos (IRS1 =  $68 \pm 30$  vs. IRS30 =  $79 \pm 44$ ;  $p = 0,01$ ). A avaliação realizada após os 30 minutos demonstrou que os valores do IRS mantiveram-se inalterados até o término do teste de 120 minutos (IRS30 =  $79 \pm 44$  vs. IRS120 =  $81 \pm 42$ ;  $p = 0,79$ ). O IRS1 foi o melhor preditor de sucesso e fracasso de desmame e a curva ROC demonstrou a maior acurácia preditiva com o valor de 85 e não com o valor de 105 previamente proposto, encontrando sensibilidade de 89%, especificidade de 86%, VPP de 85% e VPN de 88%. Sucesso de extubação ocorreu com IRS1 =  $62 \pm 29$  e falha com IRS1 =  $82 \pm$

30 ( $p = 0,01$ ) na população estudada e avaliações consecutivas do IRS não demonstraram capacidade preditiva de desfecho (IRS30: sucesso =  $63 \pm 22$  vs. falha =  $85 \pm 24$ ;  $p = 0,08$  e IRS120: sucesso =  $65 \pm 26$  vs. falha =  $88 \pm 20$ ;  $p = 0,07$ ).

**Conclusões:** Os resultados deste estudo confirmam a boa acurácia preditiva do IRS, porém questionam a aplicabilidade de um único valor a todas as subpopulações de doentes críticos. Medidas sucessivas durante o teste de VETT podem ser mais fidedignas do que medidas isoladas, apesar de não confirmadas pelo estudo.

### **Abstract**

**Introduction:** The reduced performance of the respiratory muscles is responsible one for the imperfection in weans it. The patient who is not apt to tolerate weans it develops a respiratory standard type superficial fast breath, precocious mechanism of adaptation of the respiratory musculature to the extreme effort.

**Objective:** To evaluate of prospective form, the predictive accuracy of the respiratory frequency to tidal volume ( $f/Vt$ ) in the success of weans of the patients submitted to the test of spontaneous breathing trial (SBT).

**Results:** Of the 73 evaluated patients, 76.7% had tolerated the test of extubated SBT being and 23.3%, for not tolerating, had returned immediately for MV. Of the 56 tolerant patients to the test of SBT, 57.4% they had remained extubated and 21.9% had been reintubated in elapsing of first the 48 hours. 68  $f/Vt1$  had significant increase of the  $f/Vt$  in first the 30 minutes ( $f/Vt1 = 68 \pm 30$  vs.  $f/Vt30 = 79 \pm 44$ ;  $p = 0.01$ ). The evaluation carried through after the 30 minutes demonstrated that the values of the  $f/Vt$  had been remained unchanged until the ending of the test of 120 minutes ( $f/Vt30 = 79 \pm 44$  vs.  $f/Vt120 = 81 \pm 42$ ;  $p = 0.79$ ). The  $f/Vt1$  was the best predictor of success and failure of weans and ROC curve demonstrated the predictive accuracy greater with the value of 85 and not with the considered value of previously 105, finding sensitivity of 89%, specificity of 86%, PPV of 85% and NPV of 88%. Success of extubation occurred with  $f/Vt1 = 62 \pm 29$

e fails with  $f/Vt1 = 82 \pm 30$  ( $p = 0.01$ ) in the studied population and consecutive evaluations of the  $f/Vt$  had not demonstrated predictive capacity of outcome ( $f/Vt30$ : success =  $63 \pm 22$  vs. fails =  $85 \pm 24$ ;  $p = 0.08$  and  $f/Vt120$ : success =  $65 \pm 26$  vs. fails =  $88 \pm 20$ ;  $p = 0.07$ ).

**Conclusions:** The results of this study confirm the good predictive accuracy of the  $f/Vt$ , however the subpopulations of critical sick people question the applicability of an only value to all. Successive measures during the test of isolated SBT can be trustworthy of the one than measured, although not confirmed for the study.

### Introdução

O insucesso da descontinuação do suporte ventilatório invasivo resulta primariamente do desequilíbrio entre capacidade muscular respiratória e demanda ventilatória. Os fatores clínicos e fisiopatológicos que influenciam no processo de descontinuação do suporte ventilatório são: habilidade de troca gasosa (hipoxemia), fatores psicológicos (ansiedade, pânico e insegurança) e capacidade contrátil da musculatura respiratória. A redução do desempenho da musculatura respiratória é o principal responsável pela falha no desmame <sup>1</sup>.

O paciente que não está apto a tolerar o desmame demonstra sua incapacidade através de sinais clínicos de fácil detecção. Manifestações como ansiedade, sonolência, taquicardia, taquipnéia, instabilidade hemodinâmica, sudorese, recrutamento da musculatura respiratória acessória (intercostais e esternocleidomastoídeo), batimentos de asa do nariz e assincronia tóraco-abdominal sugerem fadiga muscular respiratória. A fadiga muscular é definida como a incapacidade de gerar força muscular com reversão somente pelo repouso, e sua detecção precoce constitui a forma mais eficaz de prevenção da falha no desmame ventilatório <sup>2</sup>.

O desenvolvimento de um padrão respiratório tipo “respiração rápida superficial” (RRS) caracteriza-se pela redução do volume de ar corrente (VAC) associado ao aumento progressivo da frequência respiratória (FR). Este é um

mecanismo precoce de adaptação da musculatura respiratória ao esforço excessivo e desenvolve-se quando o diafragma enfraquecido é submetido a uma excessiva carga inspiratória de trabalho <sup>1,3</sup>. O padrão de RRS é um dos causadores da hiperinsuflação pulmonar dinâmica e conseqüente retificação diafragmática. A orientação medial das fibras musculares reduz a força contrátil muscular com conseqüente perda da *endurance* da musculatura respiratória <sup>4</sup>.

Não existe consenso sobre quais parâmetros clínicos, ventilatórios, hemodinâmicos ou fisiológicos devem ser aplicados como preditores de sucesso no desmame <sup>5,6</sup>. Nenhum dos critérios se mostrou, isoladamente, sensível e específico como preditor de tolerância ao teste de ventilação espontânea com tubo T (VETT) e conseqüente sucesso na extubação <sup>6-8</sup>. Dentre os vários índices disponíveis, o índice de respiração superficial de 105 (IRS ou índice de Tobin), descrito por YANG E TOBIN <sup>9</sup>, demonstrou valor preditivo positivo (VPP) de 0,78 para sucesso de desmame e valor preditivo negativo (VPN) de 0,95 para falha de desmame. Apesar da sua superioridade em relação aos demais, em 20% dos casos ocorreram resultados falso-positivos, nos quais o índice previu sucesso, mas houve falha de desmame <sup>8,10,11</sup>.

Muitos investigadores <sup>8,12,13</sup> questionam o valor 105 para o IRS e sugerem que o índice não apresenta a mesma acurácia preditiva para todas as subpopulações e doenças presentes nas Unidades de Tratamento Intensivo (UTIs). Com o intuito de revisar a acurácia preditiva do índice, foi avaliado de forma prospectiva e seqüencial, o IRS dos pacientes submetidos ao teste de VETT pré-extubação.

### **Pacientes e métodos**

Este estudo foi conduzido entre julho de 2002 e dezembro de 2003 em 2 UTIs clínico-cirúrgicas do Complexo Hospitalar da Santa Casa de Porto Alegre, Rio Grande do Sul/Brasil (UTI-Central e UTI-Pavilhão Pereira Filho). A população estudada constituiu-se de 73 pacientes críticos, dependentes de ventilação mecânica (VM) invasiva por tempo superior a 48 horas, admitidos

consecutivamente nas unidades e ventilados mecanicamente com SERVO 900C® (SIEMENS-ELEMA AB; Suécia). Todos tinham idade igual ou superior aos 16 anos e a indicação de desmame da VM era definida pela equipe assistente de cada UTI, quando preenchidos os seguintes critérios: melhora ou resolução da causa da insuficiência respiratória aguda, adequada oxigenação ( $\text{PaO}_2 > 60$  mmHg com  $\text{FIO}_2 < 0,4$ ,  $\text{PEEP} < 8$  cmH<sub>2</sub>O, relação  $\text{PaO}_2/\text{FIO}_2 > 250$ ), estabilidade hemodinâmica ( $\text{FC} < 130$  bpm, ausência da necessidade de inotrópicos ou vasopressores), ausência de febre (temperatura axilar  $< 38^\circ\text{C}$ ), níveis de hemoglobina adequados ( $\text{Hb} > 8$  g/dl), sensório adequado (escala de coma de Glasgow  $> 10$  e ausência de sedação contínua), equilíbrio ácido-básico e eletrolítico e reflexo de tosse preservado<sup>7</sup>.

Após a interrupção do suporte ventilatório invasivo, os pacientes ventilavam espontaneamente com tubo T e oxigenioterapia umedecida administrada a 5 litros/minuto. O IRS era obtido através da razão da FR pelo VAC, medido com um respirômetro AINCA Model 295 (Eletronic respirometer, USA), durante um minuto de monitorização. O valor de 105 foi considerado como ponto de corte para predizer ou não a chance de sucesso do desmame.

O protocolo preconizava que os pacientes permaneceriam 120 minutos em VETT com posterior extubação naqueles com tolerância clínica ao teste, definida como:  $\text{SatO}_2 > 90\%$ ,  $\text{pH} > 7,32$ ,  $\text{FC} < 140$  bpm,  $\text{PAS} < 180$  mmHg,  $\text{FR} < 35$  mrpm, ausência de arritmias cardíacas, ausência de sonolência, agitação, ansiedade ou desconforto, ausência de sudorese, uso da musculatura respiratória acessória ou aparecimento de respiração paradoxal<sup>7</sup>. Aqueles que apresentavam sinais de fadiga respiratória clínica durante os 120 minutos de VETT, retornavam para o suporte ventilatório invasivo (figura 1). Falha no desmame foi definida como a intolerância clínica aos 120 minutos de VETT ou a necessidade de reintubação em menos de 48 horas.

Foram excluídos todos os pacientes traqueostomizados ( $n = 2$ ) ou intubados com TET de diâmetro inferior a 8,0 milímetros ( $n = 5$ ).

Os dados sobre a idade, sexo, Escore APACHE II (Escore de avaliação fisiológica aguda e crônica de saúde), doença responsável pela

internação, causa da insuficiência respiratória, tempo de VM, sucesso de extubação, medidas de complacência dinâmica e de resistência das vias aéreas e do circuito ventilatório (estas duas últimas foram registradas com os pacientes ainda sob suporte ventilatório invasivo) também foram coletados.

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética do hospital e o Consentimento Informado apresentado e acordado pelos familiares dos pacientes.

Os dados obtidos foram armazenados e as variáveis contínuas com distribuição normal foram comparadas por meio teste *t de Student*, sendo os valores expressos em média e desvio padrão (M±DP). As variáveis alocadas em categorias foram comparadas usando-se o teste do Qui-quadrado ( $\chi^2$ ), incluindo o teste de Fisher. Alguns valores foram atribuídos em porcentagem do grupo. A significância foi definida como erro tipo I menor que 0.05 ( $p < 0,05$ ). A curva ROC (Receiver Operating Characteristic Curve) foi utilizada para demonstrar o melhor ponto de corte para o IRS, calculando-se também os valores preditivos positivo e negativo. A análise foi processada utilizando o *software Statistical Package for Social Science* versão 11.0 (SPSS 11.0 - SPSS Inc; Chicago, USA)<sup>14</sup>.

## Resultados

Dos 73 pacientes inicialmente avaliados, 56 (76,7%) toleraram o teste de VETT sendo extubados e 17 (23,3%), por não tolerarem, retornaram imediatamente para VM. Dos 56 pacientes, 40 (57,4%) permaneceram extubados e 16 (21,9%) foram reintubados no decorrer das primeiras 48 horas. A média de idade da população foi de 66,3 ( $\pm 15,7$ ) anos, 41 (56,1%) do sexo masculino, a média do escore APACHE II de 18,6 ( $\pm 6,4$ ), o que prediz uma mortalidade intra-hospitalar de 11 a 22%<sup>15</sup>. Dos 73 pacientes, 26 (35,6%) tinham doença pulmonar subjacente (tabela 1). Dos 16 pacientes que toleraram a VETT, mas foram reintubados em 48 horas, 9 o foram por taquipnéia, 4 por taquicardia, 2 hipertensão arterial e 1 por hipercapnia secundária a retenção de secreções. Não houve reintubação devido à obstrução de vias aéreas por edema de glote.

As variáveis foram analisadas visando predição de falha ou sucesso de extubação (tabela 2). O escore APACHE II, o sexo e a presença de doença pulmonar não foram capazes de predizer nenhum dos desfechos.

Durante os 120 minutos de VETT, foi realizada a monitorização intermitente da FR e do VAC dos 56 pacientes, sendo avaliado o IRS no primeiro minuto (IRS1), aos 30 minutos (IRS30) e aos 120 minutos (IRS120) (figura 2). Houve aumento significativo do IRS nos primeiros 30 minutos (IRS1 =  $68 \pm 30$  vs. IRS30 =  $79 \pm 44$ ;  $p = 0,01$ ). A avaliação realizada após os 30 minutos demonstrou que os valores do IRS mantiveram-se inalterados até o término do teste de 120 minutos (IRS30 =  $79 \pm 44$  vs. IRS120 =  $81 \pm 42$ ;  $p = 0,79$ ).

O IRS1 foi o melhor preditor de sucesso e fracasso de desmame (figura 3). A avaliação da curva ROC demonstrou a maior acurácia preditiva com o valor de 85 e não com o valor de 105 previamente proposto, encontrando sensibilidade de 89%, especificidade de 86%, VPP de 85% e VPN de 88% (tabela 3). Sucesso de extubação ocorreu com IRS1 =  $62 \pm 29$  e falha com IRS1 =  $82 \pm 30$  ( $p = 0,01$ ). Avaliações consecutivas do IRS não demonstraram capacidade preditiva de desfecho (IRS30: sucesso =  $63 \pm 22$  vs. falha =  $85 \pm 24$ ;  $p = 0,08$  e IRS120: sucesso =  $65 \pm 26$  vs. falha =  $88 \pm 20$ ;  $p = 0,07$ ). Os 17 pacientes que não toleraram os 120 minutos de VETT demonstraram média de IRS semelhantes àqueles que foram extubados e falharam no desmame (IRS1 =  $83 \pm 22$  vs.  $82 \pm 30$ ;  $p = 0,9$ ).

Dos pacientes que toleraram os 120 minutos de VETT, 8/56 (14,8%) morreram. Todos estes falharam no desmame por terem sido reintubados em 48 horas. Daqueles que não toleraram o teste de VETT, 9/17 (52,9%) evoluíram para óbito (tabela 2). Todos os óbitos ocorreram dentro da UTI e todos os pacientes que tiveram alta da UTI, também tiveram alta hospitalar.

## Discussão

Este estudo confirma a acurácia do padrão ventilatório tipo RRS como preditor de sobrecarga de trabalho muscular respiratório, demonstrando sua capacidade em discriminar aqueles que terão sucesso ou falha de desmame e extubação<sup>9,18,19</sup>. Nossos dados acordam com a elevada acurácia do IRS como parâmetro de sucesso de desmame, porém demonstram valor diferente (IRS = 85) ao descrito previamente (IRS = 105)<sup>9</sup>.

O IRS é de fácil execução à beira do leito e caracteriza-se como o preditor mais fidedigno de sucesso/falha de desmame quando comparado aos demais índices. Nosso estudo demonstrou sensibilidade de 72%, especificidade de 95%, VPP de 0,65 e VPN de 0,59 para um IRS de 105. YANG e TOBIN<sup>9</sup> encontraram VPP de 0,70 e VPN de 0,95 para este mesmo valor.

Muitos investigadores não concordam e descrevem que o IRS não apresenta a mesma acurácia preditiva para todas as subpopulações de doentes<sup>12</sup>. Também questionam a validade da aplicação de um valor isolado para prever sucesso de desmame nestas populações tão heterogêneas<sup>13,20</sup>. EPSTEIN e colaboradores (cols.)<sup>12</sup> sugeriram que a acurácia do IRS depende da doença subjacente e VALLVERDÚ e cols.<sup>13</sup>, da etiologia da insuficiência respiratória. LEE e cols.<sup>10</sup> ao estudarem 52 pacientes, encontraram para um IRS < 105, sensibilidade de 72%, especificidade de 11%, VPP de 79% e VPN de 8%. Salienta-se, porém, que os autores coletaram estes dados para o cálculo do IRS quando os pacientes estavam sob suporte ventilatório, diferentes do estudo original, em que YANG E TOBIN<sup>9</sup> coletaram sob ventilação espontânea.

Sabe-se que o índice é influenciado por variáveis tais como: sintomas de ansiedade e agitação, estado de consciência, sexo e diâmetro do tubo endotraqueal, sem, no entanto, influenciar no sucesso ou falha de desmame/extubação. EPSTEIN e cols.<sup>20</sup> confirmaram a acurácia do teste em 218 pacientes e demonstraram que em mulheres entubadas com tubo de diâmetro inferior a 7 mm, um IRS > 100, não se correlacionava à falha de extubação. No



presente estudo, foram excluídos os pacientes com tubo endotraqueal de diâmetro inferior a 8 mm.

Edema de glote pós-extubação, desenvolvimento de atelectasias pulmonares ou encefalopatia por hipoventilação ou retenção de secreções, são intercorrências que não podem ser preditas pelo IRS, pois ocorrem somente após a retirada da prótese endotraqueal<sup>21</sup>. Nestes casos há aumento da resistência das vias aéreas e, conseqüente, sobrecarga de trabalho respiratório que leva a necessidade de reintubação. Sugere-se, portanto, que o IRS é um índice mais preditivo de desmame do que de extubação<sup>22</sup>.

Vários autores têm buscado um aumento da sensibilidade e especificidade do IRS associando outros parâmetros em subpopulações específicas<sup>11,23-25</sup>. KRIEGER e cols.<sup>26,27</sup> analisaram pacientes idosos (> 70 anos) e encontraram, através de análise da curva ROC, o valor de 130 como melhor preditor de desmame, com acurácia de 84% para um IRS < 130 e de 75% para um IRS < 105. Mesmo sendo uma amostragem consecutiva e temporal, nosso estudo demonstrou valores médios para o IRS de  $62 \pm 29$  para sucesso e  $82 \pm 30$  para falha de extubação. Analisando através da curva ROC o valor de 85 demonstrou uma sensibilidade de 89%, especificidade de 86%, VPP de 85% e VPN de 88%. EPSTEIN e cols.<sup>28</sup>, em 287 pacientes, encontraram valores semelhantes para sucesso (IRS =  $65 \pm 8$ ) e falha (IRS =  $81 \pm 3$ ), bem como VALLVERDÚ e cols.<sup>13</sup>, em 217 pacientes (IRS sucesso =  $65 \pm 30$  e IRS falha =  $88 \pm 44$ ). Nossos dados, semelhantes aos de outros contestam a utilização de um único valor de IRS como preditor de desmame/extubação<sup>13,28</sup>.

O acompanhamento da evolução do IRS durante os 120 minutos de VETT nesta amostra demonstrou reduzida capacidade em predizer o desfecho clínico sucesso/insucesso de desmame. GANDIA e cols.<sup>29</sup> estudaram 30 pacientes e encontraram uma sensibilidade de 86% e especificidade de 80% para sucesso de desmame com um IRS < 96 medido após 120 minutos de VETT. CHATILA e cols.<sup>21</sup> avaliaram 100 pacientes e demonstraram superioridade das mensurações do IRS30 sobre o IRS1 (acurácia: 85% vs. 71%, respectivamente). KRIEGER e cols.<sup>26,27</sup> sugeriram que, para melhor avaliação da *endurance* da

musculatura respiratória, deveria ser acompanhada a evolução do IRS durante todo teste de VETT. Seus estudos demonstraram que o IRS30 era mais acurado do que o IRS1 (área sob a curva ROC: IRS1 = 0,81 e IRS30 = 0,93). LEITCH e cols.<sup>30</sup>, estudando 163 pacientes, confirmaram adequada sensibilidade e especificidade, quando o IRS foi avaliado no início do teste de VETT e após 60 minutos. Estes estudos demonstram que o acompanhamento da evolução do IRS acrescenta informações importantes à predição de sucesso de desmame. Outro aspecto que favorece medidas seriadas do IRS durante o teste de VETT, é sua incapacidade de identificar em quais pacientes a retirada da pressão positiva da ventilação mecânica levará a congestão pulmonar. Como não é um índice de oxigenação, mas de performance ventilatória, deve ser interpretado com restrições em pacientes cardiopatas. Cabe salientar que 23,3% (17/73) dos pacientes do presente estudo não completaram os 120 minutos de VETT, não sendo aferidos os IRS30 e IRS120, o que pode ter influenciado na avaliação evolutiva.

Em resumo, nossos resultados confirmam a boa acurácia preditiva do IRS, porém questionam a aplicabilidade de um único valor a todas as subpopulações de doentes críticos. Embora não confirmado no presente estudo, medidas sucessivas durante o teste de VETT podem ser mais fidedignas do que medidas isoladas.

Figura 1: Protocolo de execução da pesquisa

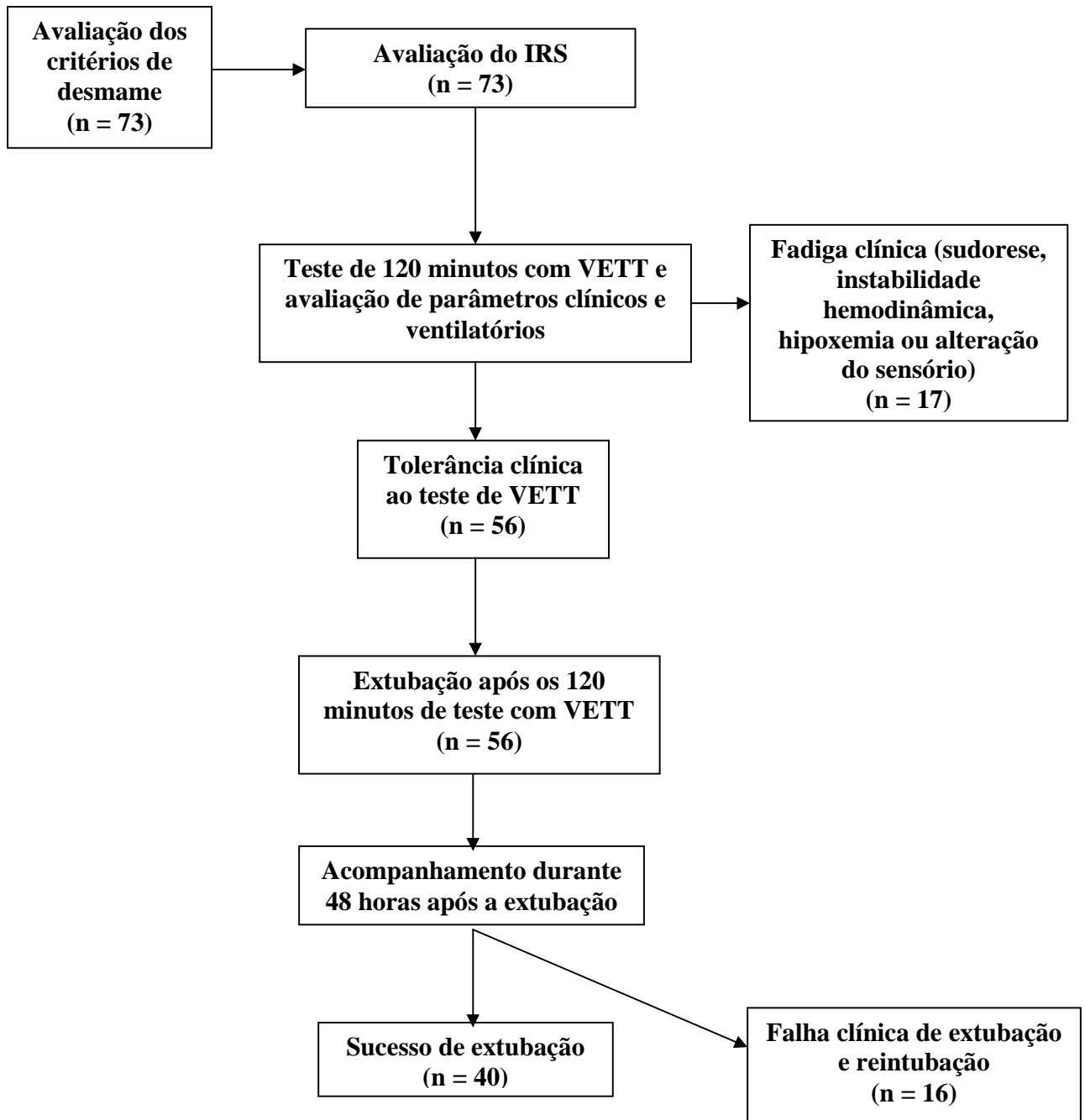


Tabela 1: Características da população estudada

Características	Número (%)
Sexo	
- Masculino	41 (56,1)
- Feminino	32 (44,9)
Média de idade	66,3 ± 15,7
Média do Escore APACHE II	18,6 ± 6,4
Tempo médio de VM antes da inclusão no estudo (dias)	9,8 ± 5,2
Motivo da internação	
- DPOC / Fibrose pulmonar / Bronquiectasias	26 (35,6)
- Pós-operatórios de grandes cirurgias*	20 (27,4)
- Choque séptico / SIRS**	13 (17,8)
- Acidente vascular encefálico	7 (9,7)
- Doenças neuromusculares***	2 (2,7)
- Cirrose hepática	2 (2,7)
- Eclampsia	2 (2,7)
- Infarto agudo do miocárdio com choque cardiogênico	1 (1,4)
Motivo da insuficiência respiratória	
- Pneumonia	48 (65,8)
- Injúria pulmonar aguda / SDRA <sup>†</sup>	12 (16,5)
- Depressão do sensorio / Hipercapnia	9 (12,3)
- Edema pulmonar cardiogênico	2 (2,7)
- Tromboembolismo pulmonar	2 (2,7)
Média da complacência dinâmica (mL/cmH <sub>2</sub> O)	52,6 ± 19,7
Média da resistência das vias aéreas e do circuito ventilatório (cmH <sub>2</sub> O/L/s <sup>2</sup> )	22,2 ± 9,9
Tolerância aos 120 minutos de VETT	56 (76,7)
Sucesso na extubação (56 pacientes que toleraram o teste de VETT)	40 (57,4)
Mortalidade	17 (23,3)

\* Aneurismectomia de aorta abdominal, cistectomia radical, *bypass* aorto-bifemoral, prótese de quadril, colectomia total, esofagectomia total, gastrectomia total, duodenopancreatectomia, lobectomia pulmonar, exérese de osteossarcoma ósseo. Cabe ressaltar que a maior percentagem destes pacientes apresentava diagnóstico de neoplasia.

\*\* SIRS (Síndrome da resposta inflamatória aguda) foi representada por politraumatizados graves e pancreatites necro-hemorrágicas<sup>16</sup>.

\*\*\* Miastenia *gravis* e Síndrome de Guillain Barré.

<sup>†</sup> SDRA (Síndrome do desconforto respiratório agudo), antigamente nomeada de SARA, consiste em um processo inflamatório grave com hipoxemia tecidual importante por *shunt* pulmonar exagerado<sup>17</sup>.

Tabela 2: Comportamento da média e desvio-padrão (M±DP) das variáveis clínico-ventilatórias

Variáveis	Sucesso (n = 40)	Falha (n = 16)	Intolerância ao teste de VETT (n = 17)	p*
Sexo masculino	27	5	19	0,08
Escore Apache II	15,6 ± 6,5	18,4 ± 4,4	20,2 ± 5,3	0,09
IRS1	62 ± 29	82 ± 30	83 ± 22	0,01
IRS30	63 ± 22	85 ± 24	-	0,08
IRS120	65 ± 26	88 ± 20	-	0,07
Presença de doença pulmonar	10	6	10	0,12
Mortalidade na UTI	0	8	9	-

\* Nível de significância.

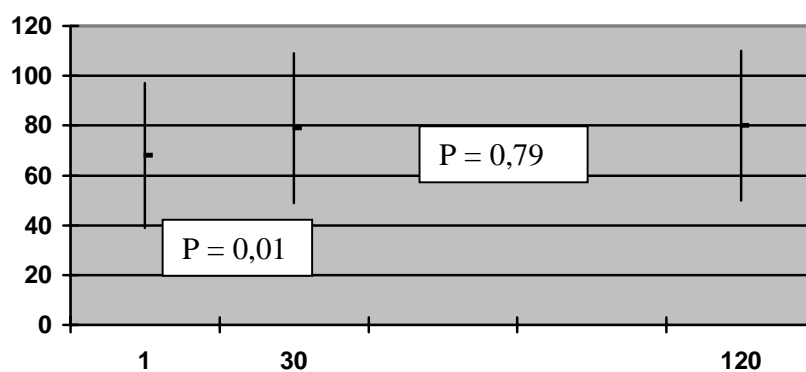


Figura 2: Evolução do IRS dos pacientes que toleraram os 120 minutos de VETT (n = 56). Definida a média e o desvio-padrão nos tempos 1, 30 e 120 minutos. Houve diferença estatística entre os intervalos de tempo 1-30 minutos (p = 0,01) e 1-120 minutos (p = 0,09). Não houve diferença estatística no intervalo de tempo 30-120 minutos (p = 0,79)

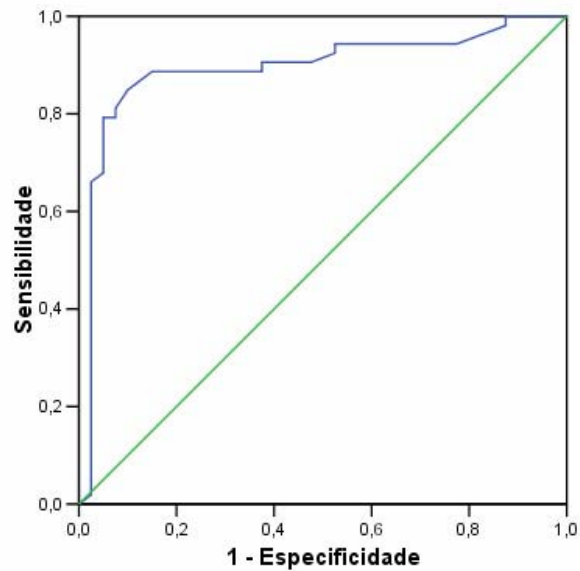


Figura 3: Curva ROC do IRS1 dos 73 pacientes. A área sob a curva é de 0,89, com intervalo de confiança de 95% de 0,82 a 0,97. Os valores do IRS variaram de 14 a 181.

Tabela 3: Sensibilidade e especificidade do IRS1 nos 73 pacientes. Dados quanto à predição de sucesso ou falha de extubação obtidos da análise da curva ROC. \*

Valor do IRS	Sensibilidade	Especificidade
85	87%	86%
105	72%	95%

\* O valor do IRS de 85 preencheu os melhores critérios de sensibilidade e especificidade na amostra estudada.

### Referências bibliográficas

75. Jubran A, Tobin MJ. Discontinuation of ventilatory support. In: Marini JJ, Slutsky AS. Physiological basis of ventilatory support. New York: Marcel Dekker; 1998:1283-1313.
76. Tobin MJ, Jubran A, Laghi F. Respiratory muscle fatigue and weaning. In: Marini JJ, Evans TW. Acute lung injury. New York: Springer; 1997:282-298.
77. Cohen C, Zagenbaum G, Gross D, Roussos C, MacKlein PT. Clinical manifestations of inspiratory muscle fatigue. Am.J.Med; 1982, 73:308-316.
78. Tobin MJ, Perez W, Guenther SM, Semmes BJ, et al. The pattern of breathing during successful and unsuccessful trials of weaning from mechanical ventilation. Am.Ver.Respir.Dis; 1989, 134:1111-1118.
79. Ely EW, Meade MO, Haponik EF, Kollef MH, et al. Mechanical ventilator weaning protocols driven by nonphysicians health-care professionals: Evidence-based clinical practice guidelines. Chest; 2001, 120:454S-463S.
80. Meade MO, Guyatt G, Cook D, Griffith L, et al. Predicting success in weaning from mechanical ventilation. Chest; 2001, 120:400S-424S.
81. MacIntyre NR, Cook DJ, Ely EW, Epstein SK, et al. Evidence-based guidelines for weaning and discontinuing ventilatory support – A collective task force facilitated by the American College of Chest Physicians; the American Association for Respiratory Care; and the American College of Critical Care Medicine. Chest; 2001, 120:375A-395A / Respir.Care; 2002, 47:69-90.
82. Conti G, Montini L, Pennisi MA, Cavaliere F, et al. A prospective, blinded evaluation of indexes proposed to predict weaning from mechanical ventilation. Int.Care Med; 2004, 30:830-836.

83. Yang KL, Tobin MJ. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *NEJM*; 1991, 324:1445-1450.
84. Lee KH, Hui KP, Chan TB, Tan WC, et al. Rapid shallow breathing (frequency-tidal volume ratio) did not predict extubation outcome. *Chest*; 1994, 105:540-543.
85. Mohsenifar Z, Hay A, Hay J, Lewis MI, et al. Gastric intramural pH as a predictor of success or failure in weaning patients from mechanical ventilation. *Ann.Intern.Med*; 1993, 119:794-798.
86. Epstein SK. Etiology of extubation failure and the predictive value of the rapid shallow breathing index. *Am.J.Respir.Crit.Care Med.* 1995; 152:545-549.
87. Vallverdú I, Calaf N, Subirana M, Net A, et al. Clinical characteristics, respiratory functional parameters, and outcome of two-hour T-piece trial in patients weaning from mechanical ventilation. *Am.J.Respir.Crit.Care Med*; 1998, 158:1855-1862.
88. Konttnerus JA, van Well C, Muris JW. Evaluation of diagnostic procedures. *BMJ*; 2002, 324:477-480.
89. Knaus WA, Draper EA, Wagner DP, Zimmerman JE. APACHE II: a severity of disease classification system. *Crit.Care Med*; 1985, 10:818-829.
90. Bone RC, Balk RA, Cerra FB, Dellinger AM, et al. American College of Chest Physicians / Society of Critical Care Medicine Consensus Conference Committee. Definitions of sepsis and organ failure and guidelines for use of innovative therapies in sepsis. *Chest*; 1992, 101:1644-1655.
91. Artigas A, Bernard GR, Carlet J, Dreyfuss D, et al. The American-European Consensus Conference on ARDS, part 2 – ventilatory, pharmacologic, supportive therapy, study design strategies and issues related to recovery and remodeling. *Int.Care Med*; 1998, 24:378-398.



92. Banner MJ, Kirby RR, Kirton OC, DeHaven CB, et al. Breathing frequency and pattern are poor predictors of work of breathing in patients receiving pressure support ventilation. *Chest*; 1995, 108:1338-1344.
93. Johannigman JA, Davis Jr. K, Campbell RS, Branson RD, et al. Use of the rapid/shallow breathing index as an indicator of patient work of breathing during pressure support ventilation. *Surgery*; 1997, 122:737-741.
94. Epstein SK, Ciubotaru RL. Influence of gender and endotracheal tube size on preextubation breathing pattern. *Am.J.Respir.Crit. Care Med*; 1996, 154:1647-1652.
95. Chatila W, Jacob B, Guaglionone D, Manthous CA. The unassisted respiratory rate-tidal volume ratio accurately predicts weaning outcome. *Am.J.Med*; 1996, 101:61-67.
96. Epstein SK, Ciubotaru RL. Independent effects of etiology of failure and time to reintubation on outcome for patients failing extubation. *Am.J.Respir.Crit.Care Med*; 1998, 158:489-493.
97. Shikora AS; et al. The oxygen cost of breathing may predict weaning from mechanical ventilation better than the respiratory rate to tidal volume ratio. *Arch. Surg*; 129: 269-274; 1994.
98. Sassoon CSH, Mahute CK. Airway occlusion pressure and breathing pattern as predictors of weaning outcome. *Am.Ver.Respir.Dis*; 1993, 148:860-866.
99. Namen AM, Ely EW, Tatter SB, Case LD, et al. Predictors of successful extubation in neurosurgical patients. *Am.J.Respir.Crit.Care Med*; 2001, 163:658-664.
100. Krieger BP, Ershowsky PF, Becker DA, Gazeroglu HB. Evaluation of conventional criteria for predicting successful weaning from mechanical ventilatory support in elderly patients. *Crit.Care Med*; 1989, 9:858-861.
101. Krieger BP, Isber J, Breitenbucher A, Throop G, et al. Serial measurements of the rapid-shallow-breathing index as a predictor of

- weaning outcome in elderly medical patients. *Chest*; 1997, 112:1029-1034.
102. Epstein SK, Ciubotaru RL, Wong JB. Effect of failed extubation on the outcome of mechanical ventilation. *Chest*; 1997, 112:186-192.
103. Gandia F, Blanco J. Evaluation of indexes predicting the outcome of ventilator weaning and value of adding supplemental inspiratory load. *Int. Care Med*; 1992, 18:327-333.
104. Leitch EA, Moran JL, Grealley B. Weaning and extubation in the intensive care unit. Clinical or index-driven approach. *Int. Care Med*; 1996, 22:752-759.

## **Avaliação contínua do trabalho respiratório: preditor de desmame da ventilação mecânica**

Teixeira C, Teixeira PJZ, de Leon PP, Oliveira ES

Unidade de Terapia Intensiva do Pavilhão Pereira Filho e Unidade de Terapia Intensiva Central do Complexo Hospitalar da Santa Casa de Porto Alegre, Brasil.

### **Resumo**

**Introdução:** Aproximadamente 40% do tempo total de intubação é ocupado por tentativas de desmame e o insucesso deve-se ao desequilíbrio entre capacidade muscular respiratória e demanda ventilatória. Os sinais clínicos são muito tardios e a detecção precoce da fadiga muscular é a maneira mais eficaz de reduzir as falhas no desmame ventilatório. A avaliação do trabalho respiratório (Wr) tem sido considerada como um preditor de desmame, pois se eleva precocemente nos casos de falha.

**Objetivo:** Avaliar o comportamento do Wr durante 120 minutos de VETT e sua acurácia preditiva de sucesso ou fracasso de desmame e extubação.

**Resultados:** A amostra foi constituída de 51 pacientes com IRS no primeiro minuto inferior a 105, toleraram clinicamente o teste de 120 minutos de VETT e foram extubados. O sucesso do desmame ocorreu em 74,5% casos. O escore APACHE II, o sexo, a FR, a presença de doença pulmonar e a causa da insuficiência respiratória não foram capazes de predizer nenhum dos desfechos. O Wr aumentou significativamente durante o teste de VETT em todos os pacientes. As medidas de Wr no primeiro minuto e aos trinta minutos não diferiram significativamente ( $Wr_1 = 0,21 \pm 0,12$  J/L vs.  $Wr_{30} = 0,24 \pm 0,16$  J/L;  $p = 0,09$ ). No entanto, a comparação do Wr aos 30 minutos com o Wr aos 120 minutos de VETT mostrou diferença significativa ( $Wr_{30} = 0,24 \pm 0,16$  J/L vs.  $Wr_{120} = 0,28 \pm 0,21$  J/L;  $p = 0,03$ ). Quando observada a evolução durante os 120 minutos, a diferença foi ainda mais marcante ( $Wr_1 = 0,21 \pm 0,12$  J/L vs.  $Wr_{120} = 0,28 \pm 0,21$  J/L;  $p < 0,01$ ). Este aumento de Wr aos 120 minutos foi em média maior nos pacientes que

falharam na extubação ( $Wr_{120} = 0,39 \pm 0,27 \text{ J/L}$  vs.  $0,24 \pm 0,17 \text{ J/L}$ ;  $p = 0,02$ ). O  $Wr$  no primeiro minuto ( $Wr_1 = 0,23 \pm 0,14 \text{ J/L}$  vs.  $0,20 \pm 0,13 \text{ J/L}$ ;  $p = 0,73$ ) e aos 30 minutos ( $Wr_{30} = 0,27 \pm 0,18 \text{ J/L}$  vs.  $0,23 \pm 0,15 \text{ J/L}$ ;  $p = 0,12$ ) não foram diferentes nos pacientes que tiveram, respectivamente, falha e sucesso no desmame. A avaliação do  $Wr$  aos 120 minutos determinou uma área sob a curva de 0,65, com intervalo de confiança de 95% de 0,46 a 0,83. O valor de 0,26 J/L foi encontrado como sendo o ponto de corte capaz de melhor predizer sucesso ou falha no desmame, com sensibilidade de 63%, especificidade de 62%, VPP de 82% e VPN de 36%.

**Conclusão:** A manutenção do paciente em VETT durante 120 minutos determinou maior trabalho respiratório. Este achado foi associado com maior chance de falha na extubação.

## Introdução

A descontinuação da ventilação mecânica (VM) abrange desde a redução do suporte ventilatório invasivo até a retirada do tubo endotraqueal (TET). Aproximadamente 40% do tempo total de intubação é ocupado por tentativas de desmame e o insucesso deve-se ao desequilíbrio entre capacidade muscular respiratória e demanda ventilatória<sup>1,2</sup>. Os sinais clínicos são muito tardios e a detecção precoce da fadiga muscular é a maneira mais eficaz de reduzir as falhas no desmame ventilatório<sup>3</sup>. A aplicação do teste de ventilação espontânea com tubo T (VETT) durante 30 ou 120 minutos não demonstrou diferença nas taxas de sucesso na extubação (77%), porém não há consenso quanto à escolha de quais parâmetros clínicos, ventilatórios, hemodinâmicos ou fisiológicos devam ser aplicados para predição de desmame<sup>4-6</sup>. O índice de respiração rápida superficial (IRS) e as medidas de pressão inspiratória máxima ( $PI_{\text{máx}}$ ) são os mais utilizados, porém ainda com resultados conflitantes<sup>5,7</sup>.

O  $Wr$  reflete adequadamente as propriedades mecânicas do pulmão e da caixa torácica, pois sua medida depende do volume minuto (V/M), volume de

ar corrente (VAC), complacência pulmonar e resistência das vias aéreas<sup>12</sup>. Neste contexto, a avaliação do trabalho respiratório (Wr) tem fornecido dados relevantes, apesar da dificuldade de interpretação e da necessidade de equipamentos específicos para sua leitura<sup>8-11</sup>. Pode ser mensurado através da avaliação do consumo de oxigênio (VO<sub>2</sub>) ou através do cálculo da área da curva pressão x volume ins e expiratória (método de *Campbell*). A avaliação do diagrama de *Campbell* permite uma rápida interpretação dos dados à beira do leito e prática correlação clínica<sup>10</sup>.

O Wr tem sido considerado como um preditor de desmame, já que não exige cooperação do paciente para sua avaliação e se eleva precocemente nos casos de falha<sup>9,13,14</sup>. Valores entre 0,6 e 1,34 joules por litro (J/L) são aceitos como preditores de sucesso<sup>15</sup>. Vários autores<sup>8,9,13,16</sup> têm descrito valores pontuais de Wr capazes de predizer sucesso ou falha no desmame através de medidas de pressão esofágica, que não diferem quando comparadas com os valores de Wr obtidos por medida da pressão média das vias aéreas<sup>17</sup>. Esta última, uma técnica menos complexa e exequível à beira do leito.

Tendo em vista a importância da detecção da fadiga muscular como fator que influencia o desmame da VM e a existência de dados demonstrando taxas de sucesso semelhantes ao extubar após 30 ou 120 minutos de teste, o objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento do W durante 120 minutos de VETT e sua acurácia preditiva de sucesso ou fracasso de desmame e extubação.

### **Pacientes e métodos**

Este estudo foi conduzido entre julho de 2002 e dezembro de 2003 em 2 Unidades de Tratamento Intensivo (UTIs) clínico-cirúrgicas do Complexo Hospitalar da Santa Casa de Porto Alegre/Brasil (UTI-Central e UTI-Pavilhão Pereira Filho). Foram estudados 51 pacientes dependentes de ventilação mecânica invasiva (VM) por mais de 48 horas, admitidos consecutivamente e ventilados mecanicamente com SERVO 900C<sup>®</sup> (SIEMENS-ELEMA AB; Suécia). Todos tinham idade igual ou superior aos 16 anos e a indicação de desmame era

definida pela equipe assistente de cada UTI, quando preenchidos os seguintes critérios: melhora ou resolução da causa da insuficiência respiratória aguda, adequada oxigenação ( $\text{PaO}_2 > 60$  mmHg com  $\text{FIO}_2 < 0,4$ ,  $\text{PEEP} < 8$  cmH<sub>2</sub>O,  $\text{PaO}_2/\text{FIO}_2 > 250$ ), estabilidade hemodinâmica {frequência cardíaca (FC)  $< 130$  bpm, ausência da necessidade de inotrópicos ou vasopressores}, ausência de febre (temperatura axilar  $< 38^\circ\text{C}$ ), níveis de hemoglobina adequados ( $\text{Hb} > 8$  g/dl), sensório adequado (escala de coma de Glasgow  $> 10$  e ausência de sedação contínua), ausência de alterações no equilíbrio ácido-básico e eletrolítico e reflexo de tosse preservado <sup>6</sup>.

Após a interrupção do suporte ventilatório invasivo, os pacientes ventilavam espontaneamente com tubo T e oxigenioterapia umedecida administrada continuamente a 5 litros/minuto. O IRS foi obtido através da razão da frequência respiratória (FR) pelo VAC medido com um respirômetro AINCA Model 295 (Eletronic respirometer, USA), durante um minuto de monitorização. A pressão inspiratória máxima ( $\text{PI}_{\text{máx}}$ ) foi mensurada com o uso de um manômetro (Suporte Famabra - Brasil) e definida como o valor mais negativo obtido por 3 esforços inspiratórios consecutivos contra uma válvula unidirecional.

O protocolo preconizava a permanência de 120 minutos em VETT e posterior extubação naqueles com  $\text{IRS} < 105$  mrpm/L e  $\text{PI}_{\text{máx}} < - 30$  cmH<sub>2</sub>O avaliados no primeiro minuto de VETT. Intolerância ao teste de VETT foi definida como:  $\text{FR} > 35$  mrpm, saturação de oxigênio ( $\text{SatO}_2$ )  $< 90\%$ ,  $\text{FC} > 130$  bpm, surgimento de arritmias cardíacas, aparecimento de sonolência, agitação, ansiedade ou desconforto, sudorese, uso da musculatura respiratória acessória ou presença de respiração paradoxal <sup>6</sup>. Estes casos retornavam para o suporte ventilatório e eram excluídos do estudo, bem como aqueles pacientes traqueostomizados ou intubados com TET de diâmetro inferior a 8.0 milímetros.

Todos os casos foram monitorizados continuamente durante os 120 minutos de VETT pelo sistema de monitorização respiratória Ventrak<sup>®</sup> 1500 (Novamatrix Medical Systems, Wallingford, CT) previamente descrito <sup>18-22</sup>. O monitor foi conectado a um microcomputador apropriado para a interpretação dos dados e das curvas respiratórias. A leitura dos fluxos inspiratórios e expiratórios foi

realizada por um pneumotacógrafo pré-calibrado conectado entre o filtro bacteriano do TET e o tubo Y de oferta de oxigênio, conforme preconizado por HENNING et al.<sup>17</sup>. Os dados de mecânica respiratória derivaram das curvas de fluxo inspiratório e expiratório captadas continuamente. Os valores médios do Wr foram distribuídos em gráficos de tendência durante os 120 minutos de monitorização contínua e analisados no primeiro minuto (Wr1), aos 30 minutos (Wr30) e aos 120 minutos (Wr120) de VETT. A unidade de Wr empregada foi o J/L por correlacionar-se melhor à mecânica respiratória do que as medidas em joule por minuto<sup>12</sup>. Os dados sobre idade, sexo, escore APACHE II (Escore de avaliação fisiológica aguda e crônica de saúde), doença responsável pela internação, causa da insuficiência respiratória, tempo de VM e sucesso de extubação também foram coletados<sup>23</sup>.

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do hospital e o Consentimento Informado apresentado e acordado pelos familiares dos pacientes.

Os dados obtidos foram armazenados e as variáveis contínuas com distribuição normal foram comparadas por meio do teste *t* de *Student*, sendo os valores expressos em médias e desvio padrão ( $M \pm DP$ ). Variáveis alocadas em categorias foram comparadas usando-se o teste do Qui-quadrado ( $\chi^2$ ), incluindo o teste de Fisher. Alguns valores foram atribuídos em porcentagem do grupo. Significância foi definida como erro tipo I menor que 0,05 ( $p < 0,05$ ). Para demonstrar o ponto de corte do Wr que melhor prediria a chance de sucesso no desmame foi utilizada a curva ROC (*Receiver operating characteristic curve*), calculando-se também os valores preditivos positivo (VPP) e negativo (VPN). A análise foi processada utilizando o *software Statistical Package for Social Science* versão 11.0 (SPSS 11.0 – SPSS Inc; Chicago, USA)<sup>24</sup>.

## Resultados

Os 51 pacientes que apresentavam IRS no primeiro minuto inferior a 105 mrpm/L e toleraram clinicamente o teste de 120 minutos de VETT foram

extubados e acompanhados por 48 horas. O sucesso do desmame ocorreu em 38 (74,5%) casos (tabela 1). Dos 13 (24,5%) pacientes que falharam no desmame e foram reintubados nas primeiras 48 horas, 3 receberam suporte ventilatório não invasivo com máscara facial antes da reintubação.

A média de idade da população era 61,4 ( $\pm$  12,7) anos, 30 (58,8%) eram do sexo masculino, a média do escore APACHE II era de 15,3 ( $\pm$  4,9), o que prediz uma mortalidade intra-hospitalar de 11 a 22%<sup>23</sup>. Dos 51 pacientes, 19 (37,2%) tinham doença pulmonar subjacente. Dos 13 pacientes reintubados, 7 foram por fadiga clínica (hipoxemia, sudorese ou uso da musculatura respiratória acessória), 3 por broncoespasmo, 2 por hipercapnia secundária a retenção de secreções e 1 por congestão pulmonar. Não houve reintubação devido à obstrução de vias aéreas por edema de glote.

As variáveis foram analisadas visando predição de sucesso ou falha de desmame e extubação (tabela 2). O escore APACHE II, o sexo, a FR, a presença de doença pulmonar e a causa da insuficiência respiratória não foram capazes de predizer nenhum dos desfechos. A figura 1 demonstra que o  $W_r$  aumentou significativamente durante o teste de VETT em todos os pacientes. As medidas de  $W_r$  no primeiro minuto e aos trinta minutos não diferiram significativamente ( $W_{r1} = 0,21 \pm 0,12$  J/L vs.  $W_{r30} = 0,24 \pm 0,16$  J/L;  $p = 0,09$ ). No entanto, a comparação do  $W_r$  aos 30 minutos com o  $W_r$  aos 120 minutos de VETT mostrou diferença significativa ( $W_{r30} = 0,24 \pm 0,16$  J/L vs.  $W_{r120} = 0,28 \pm 0,21$  J/L;  $p = 0,03$ ). Quando observada a evolução durante os 120 minutos, a diferença foi ainda mais marcante ( $W_{r1} = 0,21 \pm 0,12$  J/L vs.  $W_{r120} = 0,28 \pm 0,21$  J/L;  $p < 0,01$ ).

Este aumento de  $W_r$  aos 120 minutos foi em média maior nos pacientes que falharam na extubação ( $W_{r120} = 0,39 \pm 0,27$  J/L vs.  $0,24 \pm 0,17$  J/L;  $p = 0,02$ ), conforme demonstra a figura 2. O  $W_r$  no primeiro minuto ( $W_{r1} = 0,23 \pm 0,14$  J/L vs.  $0,20 \pm 0,13$  J/L;  $p = 0,73$ ) e aos 30 minutos ( $W_{r30} = 0,27 \pm 0,18$  J/L vs.  $0,23 \pm 0,15$  J/L;  $p = 0,12$ ) não foram diferentes nos pacientes que tiveram, respectivamente, falha e sucesso no desmame.



A avaliação do  $W_r$  aos 120 minutos determinou uma área sob a curva de 0,65, com intervalo de confiança de 95% de 0,46 a 0,83 (figura 3). O valor de 0.26 J/L foi encontrado como sendo o ponto de corte capaz de melhor prever sucesso ou falha no desmame, com sensibilidade de 63%, especificidade de 62%, VPP de 82% e VPN de 36%.

## Discussão

Os dados deste estudo demonstram que o  $W_r$  aumentou conforme o tempo de VETT e que o seu acompanhamento no decorrer do teste foi capaz de prever sucesso ou falha de extubação, na população em que o IRS < 105 mrpm/L previu sucesso.

Nenhum parâmetro isolado tem sido suficientemente acurado na predição de tolerância ao desmame e extubação<sup>6</sup>. O IRS, descrito por YANG e TOBIN, traduz uma adaptação fisiológica da musculatura à fadiga e apresenta índices preditivos elevados quando utilizado 105 mrpm/L como ponto de corte (sensibilidade: 72%, especificidade: 95%, VPP: 0,78, VPN: 0,95)<sup>7</sup>. Muitos autores, no entanto, questionam a sua aplicabilidade a todas as subpopulações das UTIs, já que encontraram resultados conflitantes<sup>27-33</sup>.

O estudo de ESTEBAN e colaboradores (cols.), avaliando 256 pacientes randomizados para permanecer 30 ou 120 minutos em VETT, encontrou taxas semelhantes de sucesso (75,9% vs. 73%;  $p = 0,43$ ), demonstrando que o tempo de VETT não influenciava no desfecho desmame<sup>34</sup>. O TET, porém, parece oferecer uma carga de trabalho adicional ao paciente. Estudos fisiológicos descreveram que a intubação endotraqueal reduz o calibre da via aérea, altera a mecânica respiratória e cria um fluxo turbulento de ar<sup>35-37</sup>. BROCHARD e cols. avaliaram 11 pacientes e definiram que o  $W_r$  aumentou com a presença do TET quando comparado ao  $W_r$  pós-extubação ( $8,2 \pm 5,1$  J/min vs.  $6,3 \pm 3,7$  J/min, respectivamente)<sup>38</sup>. Por outro lado, STRAUS e cols. estudaram 14 pacientes extubados com sucesso após 2 horas de VETT e não encontraram diferença no comportamento do  $W_r$  no início do teste, nas duas horas e após a extubação<sup>39</sup>.

Neste mesmo estudo, os autores mostraram que a resistência das vias aéreas pós-extubação aumentou quando comparada à medida pré-extubação. A avaliação do  $W_r$  dissipado contra o TET, demonstrou que este era responsável por  $11 \pm 3,9\%$  do  $W_r$  total, enquanto que o  $W_r$  dissipado contra a via aérea supra-glótica, nos pacientes já extubados, era de  $7 \pm 4,3\%$  do  $W_r$  total. Baseados nestes dados concluíram que o teste de VETT permitia avaliar adequadamente o  $W_r$  que o paciente realiza após a retirada do tubo endotraqueal. NATHAN e cols. em 7 pacientes, ISHAAYA e cols. em 8 pacientes e MEHTA e cols. em 22 pacientes encontraram aumento do  $W_r$  após a retirada da prótese respiratória<sup>40-42</sup>. Como não foram evidenciadas anormalidades mecânicas traqueais ou glóticas pela fibrobroncoscopia (inflamação ou acúmulo de secreções), teorizaram que este aumento possa ter sido decorrente do aumento da resistência ao fluxo de ar imposta pela orofaringe e nasofaringe. Embora o presente estudo não tenha avaliado o valor do  $W_r$  após extubação, constatou um aumento do mesmo conforme o tempo de VETT ( $W_1 = 0,21 \pm 0,12$  J/L vs.  $W_{120} = 0,28 \pm 0,21$  J/L;  $p < 0,01$ ), revelando uma sobrecarga ventilatória imposta pelo TET, já que todos os pacientes apresentavam uma condição muscular favorável a extubação, definida por uma  $PI_{m\acute{a}x} < -30$  cmH<sub>2</sub>O.

A simples presença do TET aumenta demasiadamente o  $W_r$ <sup>43</sup>. Isto é mais pronunciado nos TETs de pequeno calibre devido à elevada resistência proporcionada ao fluxo aéreo turbulento e a obstrução do lúmen por aderência de secreções aderidas a parede interna do tubo. KIRTON e cols. demonstraram que aproximadamente 80% do  $W_r$  total devia-se ao  $W_r$  imposto pelo aparato ventilatório e não ao  $W_r$  fisiológico da musculatura respiratória<sup>11</sup>. Nosso estudo excluiu os pacientes com TETs menores que 8 mm, pois os tubos de maior diâmetro (> 8 mm) apresentam resistência semelhante<sup>44</sup>. BERSTEIN e cols. demonstraram, em estudo experimental, que o  $W_r$  crítico foi alcançado mais precocemente com tubos de diâmetros menores que 7 mm<sup>45</sup>. SHAPIRO e cols. estudaram 3 voluntários normais intubados até a faringe distal com TETs de diâmetro interno variando de 6 a 9 mm e variações de volume minuto (V/M) de 5 a 30 L<sup>46</sup>. As medidas de  $W_r$  e do produto pressão-tempo (TTdi) demonstraram que,

em qualquer nível de ventilação, o  $W_r$  e o  $TT_{di}$  aumentaram proporcionalmente a redução do diâmetro do TET, com diferenças mais marcantes nos elevados  $V/M$  ( $p < 0,05$ ). Para  $V/M$  próximos a 30 L/min. e TET de 6 e 7 mm de diâmetro, o  $TT_{di}$  excedeu 0,15 (valor crítico para fadiga respiratória). Estima-se que, em indivíduos criticamente doentes, a fadiga muscular aconteça com maior facilidade do que em indivíduos sadios, não sendo necessários  $V/M$  tão elevados para atingi-la. FIASTRO e cols., avaliando 5 pacientes intubados com TET de diâmetros entre 7 e 9 mm, demonstraram que o  $W_r$  aumentou conforme diminuiu o diâmetro do TET e aumentou o  $V/M$  <sup>47</sup>. BOLDER e cols. concluíram que a redução de 1 mm no diâmetro do TET resultaria em aumento de 34 a 154% do  $W_r$ , dependendo da FR e do VAC aplicados <sup>48</sup>.

Nosso estudo também demonstrou que a análise contínua do  $W_r$  durante o teste de VETT foi capaz de prever sucesso ou falha no desmame. Nos casos de falha, o  $W_r$  médio aos 120 minutos aumentou em relação ao do primeiro minuto ( $W_{r1} = 0,23$  J/L,  $W_{r120} = 0,39$  J/L;  $p = 0,01$ ). Nos casos de sucesso, isto é, nos pacientes que permaneceram extubados além das 48 horas, o  $W_r$  médio não aumentou de maneira significativa (0,20 J/L para 0,24 J/L;  $p = 0,58$ ). Quando avaliado o  $W_r$  aos 120 minutos de VETT, os pacientes que falharam apresentaram valores significativamente maiores do que aqueles que tiveram sucesso no desmame (0,39 J/L vs. 0,24 J/L;  $p < 0,05$ ). Desta forma, o prolongamento do teste de VETT poderia ser responsável pela maior falha na extubação, decorrente de um maior  $W_r$ , necessário para a manutenção de uma ventilação adequada contra a resistência oferecida pelo TET.

O nível de  $W_r$  que traduz probabilidade de desmame varia de 0,47 J/L a 1,44 J/L <sup>8,47</sup>. Vários estudos definiram os valores de  $W_r$  por análise retrospectiva das curvas ROC em um momento único de mensuração durante a fase de desmame <sup>8-11,16,17,47</sup>. Esta grande variabilidade, segundo os autores, devia-se aos diferentes equipamentos e técnicas de mensuração, a heterogeneidade das populações estudadas e a presença inconstante de filtros bacterianos nos circuitos ventilatórios. A técnica mais freqüentemente empregada avalia o  $W_r$  transpulmonar (subtração da pressão esofágica pela pressão das vias aéreas) e

caracteriza-se por uma maior precisão dos dados obtidos. A dificuldade de sua aplicação rotineira reside na necessidade da introdução de um cateter esofágico. HENNING e cols. avaliando 38 pacientes não evidenciaram diferenças significativas no cálculo do  $W_r$  e na predição da dependência da VM quando as medidas eram realizadas por análise da pressão esofágica ou através da pressão média das vias aéreas<sup>17</sup>. Esse autor avaliou o  $W_r$  por medida da pressão média das vias aéreas acoplando um pneumotacógrafo a porção externa do TET, técnica essa, também utilizada no presente estudo.

Alguns autores já descreveram níveis de  $W_r$  através da análise do diagrama de Campbell ou por estimativas do consumo de oxigênio ( $VO_2$ )<sup>14,49</sup>. Os valores de 0,47 J/L ou 3,9 J/min são os mais citados na predição de sucesso ou falha de desmame<sup>50,51</sup>. Na nossa amostra não foi utilizado o valor de 0,47 J/L, uma vez que a média do  $W_{r120}$  nos pacientes que fracassaram na extubação foi de 0,39 J/L. Quando avaliado através da curva ROC, o valor do  $W_{r120}$  de 0,26 J/L demonstrou melhor acurácia preditiva, com sensibilidade de 62% e especificidade de 64%. A análise do valor de 0,47 J/L apresentou sensibilidade de apenas 31% e especificidade de 89%, demonstrando uma perda da capacidade de detectar a possibilidade de falha.

A tabela 3 resume os principais artigos que avaliaram o  $W_r$  na predição de sucesso e falha no desmame/extubação. LEVY e cols. sugeriram que o  $W_r$  não tenha discriminado o sucesso do desmame em seu estudo, pelo fato de ter utilizado um valor teórico previamente descrito em adolescentes hígidos (0,75 J/L) e pela preponderância de pacientes com DPOC e obesidade na sua amostra<sup>13</sup>. KRIEGER e cols. e DeHAVEN e cols. demonstraram que a taquipnéia descrita nos testes de VETT não necessariamente advém da fadiga da musculatura respiratória<sup>53,54</sup>. Os pacientes que toleraram o desmame apresentavam  $W_r$  fisiológico < 0,8 J/L e a taquipnéia foi atribuída à sobrecarga ventilatória, dor, febre, ansiedade ou abstinência as drogas sedativas.

Um aspecto que diferencia este de outros estudos (tabela 4) é a determinação do  $W_r$  de forma prospectiva e evolutiva durante o tempo de VEET. Valores de  $W_r$  foram extraídos a partir de períodos curtos e pontuais de avaliação,

fato que traduz a importância dos nossos achados, definidos a partir de medidas contínuas no decorrer dos 120 minutos do teste. A análise evolutiva do  $W_r$  provavelmente ofereça um índice mais fidedigno da progressão para a fadiga respiratória.

Conclui-se, portanto, que 120 minutos em VETT determinou maior trabalho respiratório, achado esse associado a maior chance de falha na extubação. Medidas isoladas de  $W_r$  não deveriam ser aplicadas na estratificação de sucesso ou fracasso do desmame.

Tabela 1: Características da população estudada.

Características	n (%)
<b>Sexo</b>	
- Masculino	30 (58,8)
- Feminino	21 (41,2)
<b>Média de idade (anos)</b>	61,4 ± 12,7
<b>Média do Escore Apache II</b>	15,3 ± 4,9
<b>Tempo médio de VM antes da inclusão no estudo (dias)</b>	9,2 ± 5,5
<b>Motivo da internação</b>	
- Doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), fibrose pulmonar e bronquiectasias	19 (37,2)
- Pós-operatórios de grandes cirurgias*	10 (19,6)
- Choque séptico / SIRS**	10 (19,6)
- Acidente vascular encefálico	6 (12,2)
- Doenças neuromusculares***	2 (3,8)
- Cirrose hepática	2 (3,8)
- Eclampsia	1 (1,9)
- Infarto agudo do miocárdio com choque cardiogênico	1 (1,9)
<b>Motivo da insuficiência respiratória</b>	
- Pneumonia	33 (64,4)
- Injúria pulmonar aguda / SDRA”	10 (19,6)
- Depressão do sensório / Hipercapnia	6 (12,2)
- Edema pulmonar cardiogênico	1 (1,9)
- Tromboembolismo pulmonar	1 (1,9)
<b>Média da complacência dinâmica (mL/cmH<sub>2</sub>O)</b>	54,1 ± 19,9
<b>Média da resistência das vias aéreas e do circuito ventilatório (cmH<sub>2</sub>O/L/s<sup>2</sup>)</b>	17,2 ± 9,6
<b>Sucesso na extubação</b>	38 (74,5)
<b>Mortalidade</b>	8 (15,7)

\* Aneurismectomia de aorta abdominal, cistectomia radical, *bypass* aorto-bifemoral, prótese de quadril, colectomia total, esofagectomia total, gastrectomia total, duodenopancreatectomia, lobectomia pulmonar, exérese de osteossarcoma ósseo. Cabe ressaltar que a maior percentagem destes pacientes apresentavam diagnóstico de neoplasia.

\*\* SIRS (Síndrome da resposta inflamatória aguda) <sup>25</sup>

\*\*\* Miastenia *gravis* e Síndrome de Guillain Barré.

“ SDRA (Síndrome do desconforto respiratório agudo) <sup>26</sup>.

Tabela 2: Comportamento da média e desvio-padrão (M±DP) das variáveis clínico-ventilatórias

Variável	Sucesso (n = 38)	Falha (n = 13)	p *
Idade	60,6 ± 15,9	63,7 ± 6,1	0,32
Sexo	25 homens	5 homens	0,08
Pneumopatia de base	11	8	0,07
Dias em VM	8,9 ± 4,9	10,3 ± 4,6	0,35
Pneumonia	25	8	0,08
Escore Apache II	15,7 ± 6,5	18,1 ± 4,8	0,24
FR (30 minutos) (mrpm)	28 ± 3,2	29 ± 2,9	0,19
FR (120 minutos) (mrpm)	28 ± 3,6	28 ± 4,1	0,09
Média da complacência dinâmica (mL/cmH <sub>2</sub> O)	58,9 ± 18,5	45,2 ± 11,6	< 0,01
Média da resistência das vias aéreas e do circuito ventilatório (cmH <sub>2</sub> O/L/s <sup>2</sup> )	15,7 ± 9,4	22,5 ± 9,9	0,03

\* Nível de significância.

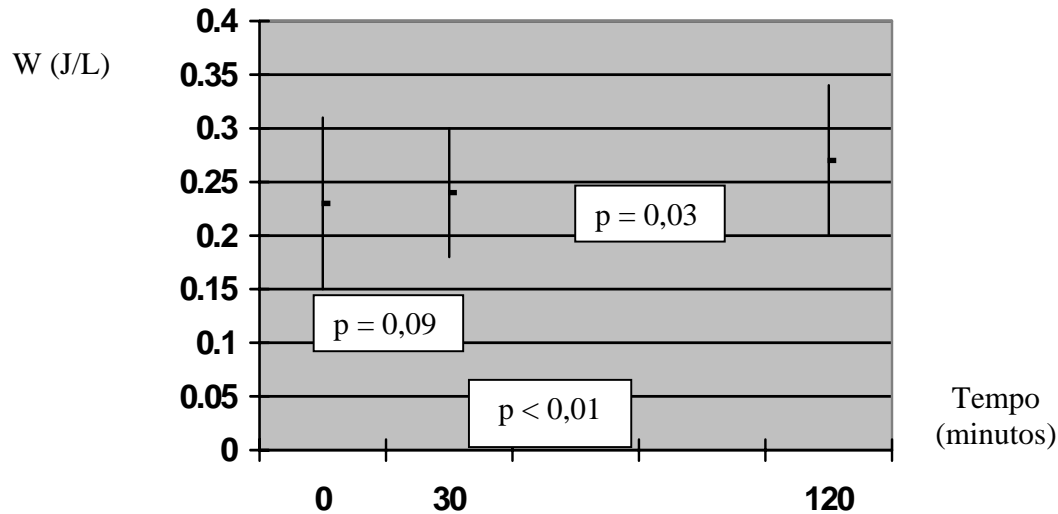


Figura 1: Evolução do trabalho respiratório ( $W_r$ ) durante os 120 minutos de VETT. Definida a média e o desvio-padrão ( $M \pm DP$ ) no primeiro minuto ( $W_{r1}$ ), aos 30 minutos ( $W_{r30}$ ) e aos 120 minutos ( $W_{r120}$ ). As medidas de  $W_r$  no primeiro minuto e aos trinta minutos não diferiram significativamente ( $W_{r1} = 0,21 \pm 0,12$  J/L vs.  $W_{r30} = 0,24 \pm 0,16$  J/L;  $p = 0,09$ ). No entanto, a comparação do  $W_r$  aos 30 minutos com o  $W_r$  aos 120 minutos de VETT mostrou diferença significativa ( $W_{r30} = 0,24 \pm 0,16$  J/L vs.  $W_{r120} = 0,28 \pm 0,21$  J/L;  $p = 0,03$ ). Quando observada a evolução durante os 120 minutos, a diferença foi ainda mais marcante ( $W_{r1} = 0,21 \pm 0,12$  J/L vs.  $W_{r120} = 0,28 \pm 0,21$  J/L;  $p < 0,01$ ).



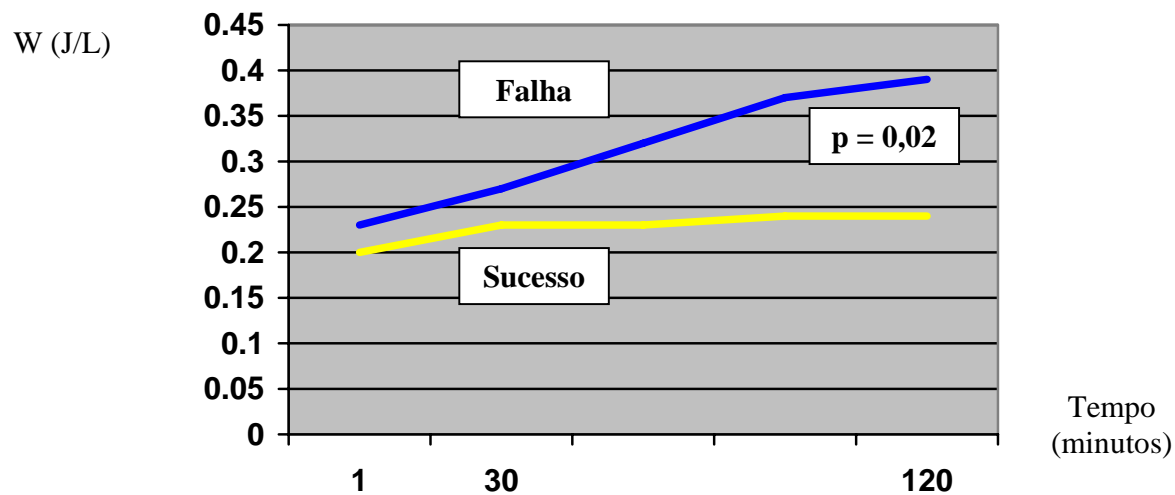


Figura 2: Evolução da média do  $W_r$  durante os 120 minutos de ventilação espontânea com tubo T (VETT), e sua relação com sucesso ou falha de extubação.

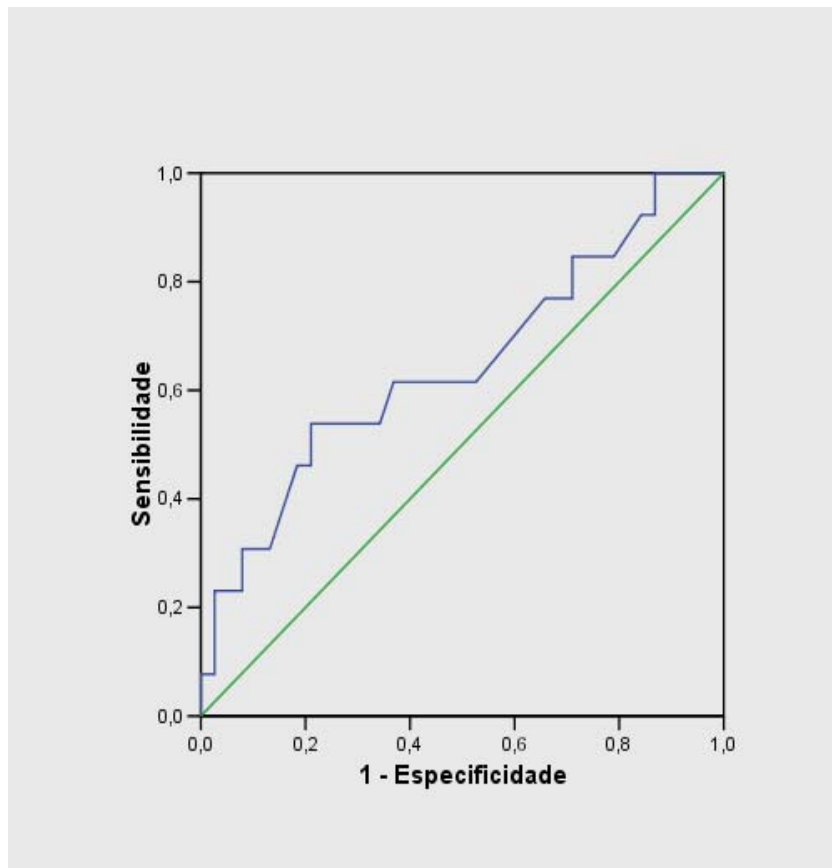


Figura 3: Área sob a curva para o  $W_r$  aos 120 minutos de ventilação espontânea com tubo T (VETT) de 0,65.

Tabela 3: Trabalho respiratório ( $W_r$ ) como determinante do sucesso do desmame ou dependência do suporte ventilatório invasivo (falha do desmame). Estudos clínicos de aplicação clínica.

<b>Estudo</b>	<b>n</b>	<b>Sucesso de desmame</b>	<b>Dependência da VM</b>	<b>p*</b>
PETERS (1972) <sup>8</sup>	18	< 9.8 J/min / < 0.98 J/L	> 9.8 J/min / > 0.98 J/L	-
PROCTOR (1973) <sup>16</sup>	168	< 13.2 J/min	> 13.2 J/min	< 0,05
HENNING (1977) <sup>17</sup>	38	< 9.8 J/min	> 16.6 J/min	< 0,001
FIASTRO (1988) <sup>9</sup>	17	< 15.7 J/min / < 1.27 J/L	> 15.9 J/min	< 0,05
HUBMAYR (1988) <sup>52</sup>	10	< 9.12 J/min.	> 11.98 J/min.	0,02
LEVY (1995) <sup>13</sup>	24	< 0.75 J/L	-	-
KIRTON (1995) <sup>11</sup>	28	< 0.8 J/L	> 0.8 J/L	0,44

\* Nível de significância

## Referências bibliográficas

105. Esteban A, Alia O, Ibanez J, Benito S, and the Spanish Lung Failure Collaborative Group. Modes of mechanical ventilation and weaning - a National Survey of Spanish Hospitals. *Chest*; 1994, 106:1188-1193.
106. Jubran A, Tobin MJ. Discontinuation of ventilatory support. In: Marini JJ, Slutsky AS. *Physiological basis of ventilatory support*. New York: Marcel Dekker; 1998:1283-1313.
107. Tobin MJ, Jubran A, Laghi F. Respiratory muscle fatigue and weaning. In: Marini JJ, Evans TW. *Acute lung injury*. New York: Springer; 1997:282-298.
108. Ely EW, Meade MO, Haponik EF, Kollef MH, et al. Mechanical ventilator weaning protocols driven by nonphysicians health-care professionals: Evidence-based clinical practice guidelines. *Chest*; 2001, 120:454S-463S.
109. Meade MO, Guyatt G, Cook D, Griffith L, et al. Predicting success in weaning from mechanical ventilation. *Chest*; 2001, 120:400S-424S.
110. MacIntyre NR, Cook DJ, Ely EW, Epstein SK, et al. Evidence-based guidelines for weaning and discontinuing ventilatory support – A collective task force facilitated by the American College of Chest Physicians; the American Association for Respiratory Care; and the American College of Critical Care Medicine. *Chest*; 2001, 120:375A-395A / *Respir.Care*; 2002, 47:69-90.
111. Yang KL, Tobin MJ. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *NEJM*; 1991, 324:1445-1450.
112. Peters RM, Hilberman M, Hogan JS, et al. Objective indications for respiratory therapy in post trauma and postoperative patients. *Am.J.Surg*; 1972, 124:262-269.

113. Fiastro JF, Habib MP, Shon BY, Campbell SC. Comparison of standard weaning parameters and the mechanical work of breathing in mechanically ventilated patients. *Chest*; 1988, 94:232-238.
114. Banner MJ, Jaeger MJ, Kirby RR. Components of the work of breathing and implications for monitoring ventilator-dependent patients. *Crit.Care Med*; 1994, 22:515-523.
115. Kirton OC, DeHaven B, Morgan JP, Windsor J, et al. Elevated imposed work of breathing masquerading as ventilator weaning intolerance. *Chest*; 1995, 108:1021-1025.
116. Fleury B, Murciano D, Talamo C, Aubier M, et al. Work of breathing in patients with chronic obstructive pulmonary disease in acute respiratory failure. *Am.Ver.Respir.Dis*; 1985, 131:822-827.
117. Levy MM, Miyasaki A, Langston D. Work of breathing as a weaning parameter in mechanically ventilated patients. *Chest*; 1995, 108:1018-1020.
118. French CJ. Work of breathing measurement in the critically ill patient. *Anaest.Int.Care*; 1999, 27:561-573.
119. Johannigman JÁ, Davis Jr. K, Campbell RS, Branson RD, et al. Use of the rapid/shallow breathing index as an indicator of patient work of breathing during pressure support ventilation. *Surgery*; 1997, 122:737-741.
120. Proctor HJ, Woolson R. Prediction of respiratory muscle fatigue by measurements of the work of breathing. *Surg.Gynecol.Obstet*; 1973, 136:367-370.
121. Henning RJ, Shubin H, Weil MH. The measurement of the work of breathing for the clinical assessment of ventilator dependence. *Crit.Care Med*; 1977, 5:264-268.
122. Tobin MJ, Lagui F. Monitoring of respiratory muscle function. In: Tobin MJ. *Principles and practice of intensive care monitoring*. New York: McGraw-Hill; 1998:497-544.

123. Roske K, Foitzik B, Wauner RR, Schmalisch G. Accuracy of volume measurements in mechanically ventilated newborns: a comparative study of commercial devices. *J.Clin.Monit.and Comput*; 1998, 14:413-420.
124. Wenzel U, Rüdiger M, Wagner MH, Wauer RR. Utility of deadspace and capnometry measurements in determination of surfactant-depleted lungs. *Crit.Care Med*; 1999, 27:946-952.
125. Manaligod JM, Bendel-Stenzel EM, Meyers PA, Bing DR, et al. Variations in end-expiratory pressure during partial liquid ventilation. *Chest*; 2000, 117:184-190.
126. Chow LC, Vanderhal A, Raber J, Sola A. Are tidal volume measurements in neonatal pressure-controlled ventilation accurate? *Pediat.Pulm*; 2002, 34:196-202.
127. Knaus WA, Draper EA, Wagner DP, Zimmerman JE. APACHE II: a severity of disease classification system. *Crit.Care Med*; 1985, 10:818-829.
128. Knottnerus JÁ, van Well C, Muris JW. Evaluation of diagnostic procedures. *BMJ*; 2002, 324:477-480.
129. Bone RC, Balk RA, Cerra FB, Dellinger AM, et al. American College of Chest Physicians / Society of Critical Care Medicine Consensus Conference Committee. Definitions of sepsis and organ failure and guidelines for use of innovative therapies in sepsis. *Chest*; 1992, 101:1644-1655.
130. Artigas A, Bernard GR, Carlet J, Dreyfuss D, et al. The American-European Consensus Conference on ARDS, part 2 – ventilatory, pharmacologic, supportive therapy, study design strategies and issues related to recovery and remodeling. *Intens.Care Med*; 1998, 24:378-398.
131. Mohsenifar Z, Hay A, Hay J, Lewis MI, Koerner SK. Gastric intramural pH as a predictor of success or failure in weaning patients from mechanical ventilation. *Ann.Intern.Med*; 1993, 119:794-798.

132. Lee KH, Hui KP, Chan TB, Tan WC, et al. Rapid shallow breathing (frequency-tidal volume ratio) did not predict extubation outcome. *Chest*; 1994, 105:540-543.
133. Shikora AS; et al. The oxygen cost of breathing may predict weaning from mechanical ventilation better than the respiratory rate to tidal volume ratio. *Arch. Surg*; 129: 269-274; 1994.
134. Epstein SK. Etiology of extubation failure and the predictive value of the rapid shallow breathing index. *Am.J.Respir.Crit.Care Med.* 1995; 152:545-549.
135. Chatila W, Jacob B, Guaglionone D, Manthous CA. The unassisted respiratory rate-tidal volume ratio accurately predicts weaning outcome. *Am.J.Med*; 1996, 101:61-67.
136. Epstein SK, Ciubotaru RL, Wong JB. Effect of failed extubation on the outcome of mechanical ventilation. *Chest*; 1997, 112:186-192.
137. Vallverdu I, Calaf N, Subirana M, et al. Clinical characteristics, respiratory functional parameters, and outcome of two-hour T-piece trial in patients weaning from mechanical ventilation. *Am.J.Respir.Crit.Care Med*; 1998, 158:1855-1862.
138. Esteban A, Alia I, Tobin MJ, Gil A, and the Spanish Lung Failure Collaborative Group. Effect of spontaneous trial duration on outcome of attempts to discontinue mechanical ventilation. *Am.J.Respir.Crit.Care Med*; 1999, 159:512-518.
139. Sullivan M; Paliotta J, Sakland M. Endotracheal tube as a factor in measurement of respiratory mechanics. *J.Appl.Physiol*; 1976, 41:590-592.
140. Kaplan JD, Schuster DP. Physiologic consequences of tracheal intubation. *Clin.Chest Med*; 1991, 12:425-432.
141. Bock KR, Silver P, Rom M, Sagy M. Reduction in tracheal lumen due to endotracheal intubation and its calculated clinical significance. *Chest*; 2000, 118:468-472.

142. Brochard L, Rua F, Lorino H, Lemaire F, et al. Inspiratory pressure support compensates for the additional work of breathing caused by the endotracheal tube. 1991; 75:739-754.
143. Straus C, Louis B, Isabey D, Lemaire F, et al. Contribution of the endotracheal tube and the upper airway to breathing workload. *Am.J.Respir.Crit.Care Med*; 1998, 157:23-30.
144. Nathan SD, Ishaaya AM, Koerner SK, Belman MJ. Prediction of minimal pressure support during weaning from mechanical ventilation. *Chest*. 1993; 103:1215-1219.
145. Ishaaya AM, Nathan SD, Belman MJ. Work of breathing after extubation. *Chest*; 1995, 107:204-209.
146. Mehta S, Nelson DL, Klinger JR, Buczko GB, et al. Prediction of post-extubation work breathing. *Crit.Care Med*; 2000, 28:1341-1346.
147. Moran JL, Homan S, O`Fathartaigh M, Leppard P. Inspiratory work imposed by continuous positive airway pressure (CPAP) machines: the effect of CPAP level and endotracheal tube size. *Inten.Care Med*; 1992, 18:148-154.
148. Conti G, De Biasi RA, Lappa A, Ferretti A, et al. Evaluation of respiratory system resistance in mechanically ventilated patients: the role of endotracheal tube. *Int.Care Med*; 1994, 20:421-424.
149. Berstein AD, Rutten AJ, Vedig AE, Skowronski GA. Additional work of breathing imposed by endotracheal tubes, breathing circuits, and intensive care ventilators. *Crit.Care Med*; 1989, 17:671-677.
150. Shapiro M, Wilson RK, Casar G, Bloom K, et al. Work of breathing through different sized endotraqueal tubes. *Crit.Care Med*. 1986; 14:1028-1031.
151. Fiastro JF, Habib MP, Quan SF. Pressure support compensation for inspiratory work due to endotracheal tubes and demand continuous positive airway pressure. *Chest*; 1988, 93:499-505.



152. Bolder PM, Healy TE, Bolder AR, Beatty PC, et al. The extra work of breathing through adult endotracheal tubes. *Anesth.Analg*; 1986, 65:853-859.
153. Shikora AS, Bistran BR, Borlase BC, Blackburn GL, et al. Work of breathing: reliable predictor of weaning and extubation. *Crit.Care Med*; 1990, 18:157-162.
154. Tobin MJ. Monitoring respiratory mechanics in spontaneously breathing patients. In: Tobin MJ. *Principles and practice of intensive care monitoring*. New York: McGraw-Hill; 1998:617-654.
155. Sassoon CSH, Mahute CK. Work of breathing during mechanical ventilation. In: Marini JJ, Slutsky AS. *Physiological basis of ventilatory support*. New York: Marcel Dekker; 1998:261-310.
156. Krieger BP, Chediak A, Gazeroglu HB, Bizousky FP, et al. Variability of the breathing pattern before and after extubation. *Chest*; 1988, 93:767-771.
157. DeHaven CB, Kirton OC, Morgan JP, Hart AML, et al. Breathing measurement reduces false-negative classification of tachypneic preextubation trial failures. *Crit.Care Med*; 1996, 24:976-980.
158. Hubmayr RD, Loosbrock LM, Gillespie DJ, Rodarte JR. Oxygen uptake during weaning from mechanical ventilation. *Chest*; 1988, 94:1148-1155.

## **Sequential Evaluation of Respiratory rate to Tidal Volume Index in Weaning Success Prediction**

Cassiano Teixeira MD <sup>1,2</sup>

Paulo José Zimmermann Teixeira MD, PhD <sup>1,3</sup>

Patrícia Pickersgill de Leon MD <sup>1</sup>

Sérgio Fernando Monteiro Brodt MD <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Intensivists of Pavilhão Pereira Filho Respiratory Intensive Care Unit and General Intensive Care Unit, Complexo Hospitalar da Santa Casa, Porto Alegre, Brazil.

<sup>2</sup> Professor of FFFCMPA Medical School, Porto Alegre, Brazil.

<sup>3</sup> Professor of FEEVALE University Center, Novo Hamburgo, Brazil.

This study was developed in Pavilhão Pereira Filho Respiratory Intensive Care Unit and General Intensive Care Unit, Complexo Hospitalar da Santa Casa, Porto Alegre, Brazil.

**Correspondence:** Travessa 19 de novembro, 85 / 501

CEP: 90620-240 - Porto Alegre, Brazil

**Key words:** Mechanical ventilation

Respiratory rate (frequency) to tidal volume

Spontaneous breathing trial

Weaning predictors

Extubation

## Abstract

**Objective:** To evaluate the predictive value of the respiratory rate to tidal volume ( $f/V_T$ ) in weaning success of patients submitted to the test of spontaneous breathing trial (SBT).

**Design:** A prospective clinical study.

**Setting:** Two general intensive care units.

**Patients:** Seventy-three non-selected patients ventilated for more than 48 hours were evaluated

**Interventions:** The cases were evaluated during 2 hours of SBT and measurements of  $f/V_T$  carried through consecutively.

**Measurements and Main Results:** Successful weaning occurred in 76.7% of the cases. The APACHE II score, sex, respiratory rate, days on mechanical ventilation, baseline disease, presence of pulmonary disease and cause of respiratory insufficiency were not able to predict the outcome. The  $f/V_t$  was evaluated in first minute ( $f/V_{T-1}$ ), in the 30<sup>th</sup> minute ( $f/V_{T-30}$ ) and in the 120<sup>th</sup> minute ( $f/V_{T-120}$ ). The measure of  $f/V_{T-30}$  increase in relation to  $f/V_{T-1}$  ( $79 \pm 44$  vs.  $68 \pm 30$ ;  $p = 0.01$ ). The measure of  $f/V_{T-30}$  and  $f/V_{T-120}$  did no differ ( $79 \pm 44$  vs.  $81 \pm 42$ ;  $p = 0.79$ ). Success of extubation occurred with  $f/V_{T-1} = 62 \pm 29$  and extubation failure with  $f/V_{T-1} = 82 \pm 30$  ( $p = 0.01$ ). The area under the ROC curve of  $f/V_{T-1}$  was 0.89 and 85 was the better cut off value for predicting weaning outcome, with 89% of sensitivity, 86% of specificity, 0.85 of positive predictive value and 0.88 of negative predictive value. The consecutive evaluations of the  $f/V_T$  do not demonstrated predictive capacity of outcome ( $f/V_{T-30}$ : weaning success =

$63 \pm 22$  vs. weaning failure =  $85 \pm 24$ ;  $p = 0.08$  and  $f/V_T-120$ : weaning success =  $65 \pm 26$  vs. weaning failure =  $88 \pm 20$ ;  $p = 0.07$ ).

**Conclusions:**  $f/V_T$  is good weaning predictive parameter, whenever the only cut off value is not capable to predict with security the weaning success or failure. Successive  $f/V_T$  measures can be trustworthy of the one, although did not confirm for this study.

### **Abbreviation list**

APACHE II = acute physiology and chronic health evaluation II score

COPD = chronic obstructive pulmonary disease

ETT = endotraqueal tube

$f/V_T$  = respiratory rate (frequency) to tidal volume

$f/V_{T-1}$  =  $f/V_t$  in first minute

$f/V_{T-30}$  =  $f/V_t$  in 30<sup>th</sup> minute

$f/V_{T-120}$  =  $f/V_t$  in 120<sup>th</sup> minute

GCS = Glasgow coma scale

ICU = Intensive Care Unit

MIP = maximum inspiratory pressure

MV = mechanical ventilation

NPV = negative predictive value

PPV = positive predictive value

RR = respiratory rate

SBT = spontaneous breathing trial

$V_E$  = minute ventilation

## Introduction

Failure of the mechanical ventilation discontinuous results of the disbalance between respiratory muscle capacity and ventilatory load. The clinical and physiopathologic factors that influence the weaning process are physiological ability of gaseous exchange (hipoxemia), psicologic factors (anxiety, panic, unreliability) and respiratory muscles capacity, and this last is the main responsible of weaning failure <sup>1</sup>. The weaning intolerance is evidence through of late clinical signals. Anxiety, sleepiness, taquicardia, taquypnea, hemodynamic instability, diaphoresis, use of accessory respiratory muscles and thoracoabdominal paradox define respiratory muscle fatigue. This is defined as incapacity to generate muscle strength with reversion only by rest and its precocious detention is the most efficient way to weaning failure prevention <sup>2</sup>.

The development of a rapid shallow breathing (respiratory rate to tidal volume -  $f/V_T$ ) is characterized for reduction of the tidal volume ( $V_T$ ) associate to gradual increase of the respiratory rate (RR). It is a precocious mechanism of adaptation of the respiratory muscles to extreme strenght and occur when weakened diaphragm do not support the inspiratory work load <sup>1,3</sup>.  $f/V_T$  is the one of the causes of dynamic pulmonary hiperinsuflation and diafragmatic rectification. This medial orientation of muscles fibres reduces muscular contractility capacity and reduced respiratory muscle endurance <sup>4</sup>.

None of the predictor parameters showed, separately, good sensibility and specificity to predict weaning success or failure <sup>5-8</sup>. Amongst the studied indices,  $f/V_T < 105$ , described for Yang and Tobin <sup>9</sup>, demonstrated positive

predictive value (PPV) of 0.78 for weaning success and negative predictive value (NPV) of 0.95 for weaning failure. Even so its superiority either evident, in 20% of the cases it was demonstrated resulted positive-false, and the  $f/V_T$  foresaw success when occurred weaning failure<sup>8,10,11</sup>.

Many investigators<sup>8,12,13</sup> question the  $f/V_T = 105$  and suggest that it's value does not present the same predictive capacity for all subpopulations and illnesses of Intensive Care Units (ICU). With intention to revise the predictive capacity of the  $f/V_T$ , was evaluated of prospective and sequential form,  $f/V_T$  of patients submitted to SBT.

## Patients and methods

This study was carried out between July of 2002 and December of 2003 in 2 medical-surgical Intensive Care Units (ICU) at Complexo Hospitalar da Santa Casa de Porto Alegre - Brazil (Pavilhão Pereira Filho Respiratory Intensive Care Unit and General Intensive Care Unit). A total of 73 mechanically ventilated-dependent patients more than 48 hours with SERVO 900C® (SIEMENS-ELEMA AB; Sweden) were studied. All patients were at least 16 years old and the weaning indication was defined by the staff assistant of each ICU. The weaning criteria were: improvement or a resolution of the acute disease phase, adequate oxygenation ( $\text{PaO}_2 > 60$  mmHg on  $\text{FIO}_2 < 0.4$ ,  $\text{PEEP} < 8$  cmH<sub>2</sub>O,  $\text{PaO}_2/\text{FIO}_2 > 250$ ), stable cardiovascular system ( $\text{HR} < 130$  and no or minimal pressors), afebrile, adequate hemoglobine ( $\text{H}_g\text{b} > 8$  g/dL), adequate mentation (arousal,  $\text{GCS} > 13$ , no continuous sedative infusions), adequate cough, acceptable acid-basic and electrolytes <sup>7</sup>.

After the interruption of the invasive ventilatory support, the patient should be in a SBT with 5 L/min oxygen humidified T-tube. The  $f/V_T$  calculates the ratio of respiratory rate (RR) and  $V_T$  measured with a respirometer AINCA Model 295 (Eletronic to respirometer; USA), during one minute of monitoring.  $f/V_T$  was calculated in the first minute ( $f/V_{T-1}$ ), in the 30<sup>th</sup> minute ( $f/V_{T-30}$ ) and in the 120<sup>th</sup> minute ( $f/V_{T-120}$ ) and 105 was adopted which cut off value to predict weaning success ou failure. The maximal inspiratory pressure (MIP) was measured with a manometer (Support Famabra - Brazil) and defined as the most negative value produced by 3 consecutive inspiratory trials against a unidirectional valve.



The protocol defined 120 minutes in SBT and extubation after those with  $f/V_T < 105$  and  $MIP < -30$  cmH<sub>2</sub>O in the first minute of the test. SBT intolerance was defined as: RR > 35 breaths/min, SpO<sub>2</sub> < 90%, HR > 130 beats/min. or changes > 20%, change in mental status (drowsiness, coma, agitation, anxiety), worsening of uncomfotability, diaphoresis or signs of increase work of breathing (use of accessory respiratory muscles or thoracoabdominal paradox) <sup>7</sup>. These patients returned using ventilatory support (figure 1). Weaning failure was defined as the clinical intolerance to 120 minutes of SBT or reintubation in less than 48 hours. The tracheotomy patients or ETT < 8 millimeters was excluded of study.

The age, sex, APACHE II score (acute physiology and chronic evaluation of health), baseline disease, etiology of respiratory insufficiency and time on mechanical ventilation (MV) and dates of mechanic ventilatory were also collected <sup>15</sup>.

The study was approved by the Ethics in Research Committee of the hospital and the Informed Consent was presented and agreed upon by the family of the patients.

## Data and Statistical Analysis

Data is expressed as mean value  $\pm$  standard deviation (SD). Two-by-two comparisons were carried out using a two-tailed paired *t*-test of continuous variables with normal distribution and *Qui-square* test of categoric variables, including the *Fisher*-test. Some data is expressed as a percentage of the group. The predictive performance of the most important variables was also evaluated by calculating the area under the receiver operating characteristic (ROC) curve using a computer program (*Statistical Package for Social Science* version 11.0 (SPSS 11.0 – SPSS Inc; Chicago, USA). Using a two-by-two table in which each of the cells contained true positive (TP), false positive (FP), false negative (FN), and true negative (TN) results, the sensitivity [ $TP/(TP + FN)$ ], specificity [ $TN/(TN + FP)$ ], positive predictive value [ $PPV = TP/(TP + FP)$ ], and negative predictive value [ $NPV = TN/(TN + FN)$ ] of these variables were calculated <sup>14</sup>.

## Results

Seventy-three patients were initially evaluated and 23% (17/73) did not tolerate 120 minutes of SBT and did not extubated. Fifty-six patients tolerate SBT, were extubated and 21.9% (16/73) were reintubated in less than 48 hours (Figure 1).

Mean age was 66.3, male gender was 56.1%, mean APACHE II score was 18.6, which predicts a hospital mortality of 11-22%<sup>23</sup>. Of the 73 patients, 35.6% (26/73) had underlying pulmonary illness (Table 1). Of the 16 patients that tolerated the SBT but were reintubated, 9 had tachypnea, 4 had tachycardia, 2 had systemic hypertension and one had hipercapny. There was no evidence of reintubation due to airway obstruction caused by glottis edema.

Data were analyzed for prediction of weaning success or failure. APACHE II score, sex, respiratory rate, pulmonary disease and respiratory insufficiency etiology had not been able to predict an outcome (Table 2). Figure 2 shows that the  $f/V_T$  significantly increased during first third minutes of SBT ( $68 \pm 30$  vs.  $79 \pm 44$ ;  $p = 0.01$ , respectively). After this period until the 120<sup>th</sup> minute did not differences ( $79 \pm 44$  vs.  $81 \pm 42$ ;  $p = 0.79$ , respectively).  $f/V_{T-1}$  was the best weaning predictor (Figure 3) and the ROC curve had cut off value 85 as a higher capacity predictive. The 105 cut off value demonstrated sensibility of 89%, specificity of 86%, PPV of 0.85 and NPV of 0.88 (Table 3).

Weaning success occur with  $f/V_{T-1} = 62 \pm 29$  and weaning failed with  $f/V_{T-1} = 82 \pm 30$  ( $p = 0.01$ ). Consecutive measurements of  $f/V_T$  were not capable to

demonstrate predictive capacity ( $f/V_T-30$ : weaning success =  $63 \pm 22$  vs. weaning failure =  $85 \pm 24$ ;  $p = 0.08$ ;  $f/V_T-120$ : weaning success =  $65 \pm 26$  vs. weaning failure =  $88 \pm 20$ ;  $p = 0.07$ ). The  $f/V_T-1$  of 17 SBT non-tolerant patients was same that weaning failure ( $83 \pm 22$  vs.  $82 \pm 30$ ;  $p = 0.9$ , respectively). The mortality rates were 14.8% (8/56) in SBT tolerant patients and 52.9% (9/17) in SBT non-tolerant patients. All patients dying in ICU and all patients with ICU discharge too had hospital discharge.

## Discussion

$f/V_T$  is of easy execution to the bed-side and is better predictor of weaning described when compared to the others studies indices. It translates the overload suffered about respiratory muscles<sup>9,18,19</sup>. Our data had confirmed this expectation since  $f/V_T$  was accurate in predict weaning success or failure, however with value of 85 and not 105, who previously described<sup>9</sup>. This study demonstrated sensitivity of 72%, specificity of 95%, PPV of 0.65 and NPV of 0.59 for  $f/V_T$  of 105. Yang and Tobin<sup>9</sup> founded a PPV of 0.70 and a NPV of 0.95.

Many authors do not agree with systematic use of the  $f/V_T$  use, because it does not present the same predictive accuracy for all the subpopulations of ICU<sup>12</sup>. They also disagree with isolated value to predict weaning success in these heterogeneous populations<sup>13,20</sup>. Epstein et al.<sup>12</sup> suggested that  $f/V_T$  accuracy depends on underlying illness and Vallverdú et al.<sup>13</sup> of the respiratory insufficiency cause. Lee et al.<sup>10</sup> studied 52 patients and founded for  $f/V_T < 105$ , sensitivity of 72%, specificity of 11%, PPV of 79% and NPV of 8%. This authors collected  $f/V_T$  during mechanical ventilation (MV), in contrast to original study of Yang and Tobin<sup>9</sup> that collected under SBT. The measurement of  $f/V_T$  is also influenced for anxiety, agitation, arousal, gender and diameter of endotracheal tube (TET), whenever these did not influences the weaning prediction. Epstein et al.<sup>20</sup> studied 218 patients and confirmed that in women with TET < 7 mm, the  $f/V_T$  value > 100 did not predict extubation failure. Based in this data, our study excluded the patients with TET < 8 mm.  $f/V_T$  cannot also predicted abnormalities that only occur after the withdrawal of TET. It do not predict glottis edema,

pulmonary atelectasis, hypoventilation encephalopathy or secretion airway retention<sup>21</sup>. Therefore, is not a good extubation predictor<sup>22</sup>.

Authors have attempted increase the predictive capacity of  $f/V_T$  associating other predictive parameters in analisys of subpopulations<sup>11,23-25</sup>. Kriger et al.<sup>26,27</sup> analyzed patients older 70 years and found, through analysis of ROC curve, the value of 130 as better weaning predictor, with specificity of 84% for 130 value of  $f/V_T$ , and 75% for 105 value of  $f/V_T$ .

Our study demonstrated  $f/V_T$  smaller in weaning successfully patients ( $62 \pm 29$  vs.  $82 \pm 30$ ;  $p = 0.01$ ). The ROC curve analisys demonstrated value of 85 with 89% of sensitivity, 86% of specificity, VPP of 0.85 and VPN of 0.88. Epstein et al.<sup>28</sup>, in 287 patients, found similar values ( $65$  vs.  $81$ ;  $p$  ....), as well as Vallverdú et al.<sup>13</sup>, in 217 cases ( $65 \pm 30$  vs.  $88 \pm 44$ ;  $p$  ....). Our data, in accord with they, contest the use of an only cut off value of  $f/V_T$  as predictor of outcome in weaning of MV<sup>13,28</sup>.

In this study, the continuous evaluation of  $f/V_T$  during the 120 minutes of SBT demonstrated reduced outcome predict capacity. Gandia et al.<sup>29</sup> studied 30 patients and found the best weaning success predict (sensitivity of 86%; specificity of 80%) with  $f/V_T < 96$  measured at the 120<sup>th</sup> of SBT. Chatila et al.<sup>21</sup> evaluated 100 patients and demonstrated better predictive accuracy with  $f/V_T$  measured at 30<sup>th</sup> minute when compared to 1<sup>th</sup> minute of SBT (85% vs. 71%, respectively). Krieger et al.<sup>26,27</sup> had suggested that, for better evaluation of respiratory muscle endurance, the evolution of the  $f/V_T$  would had to be followed during SBT time. Its studies had demonstrated that  $f/V_{T-30}$  was better that  $f/V_{T-1}$  (area under ROC curve:  $f/V_{T-1} = 0.81$ ;  $f/V_{T-30} = 0.93$ ). Leitch et al.<sup>30</sup>, studying 163 patients,

confirmed the adequate prediction of the many  $f/V_T$  measures during 60 minutes of SBT. These studies demonstrate that the accompaniment of the  $f/V_T$  adds important information to the weaning predictive capacity. In our study, 23.3% (17/73) of the patients had not completed the 120 minutes of SBT and did not measurements of  $f/V_{T-30}$  and  $f/V_{T-120}$ . It can have influenced the results.

Another aspect that favors measured serial  $f/V_T$  during SBT, is its incapacity to identify the pulmonary congestion after withdrawal of the positive mechanical pressure. The  $f/V_T$  is a ventilatory performance index, is not an oxygenation index and it must be restricted interpreted in cardiac patient.

In summary, our results confirm the good predictive accuracy of the  $f/V_T$ , however we discuss its applicability of an only value to all critical diseases. Although not confirmed in present study, serial measures during SBT could be trustwother of only measured.

Figure 1: Protocol of research

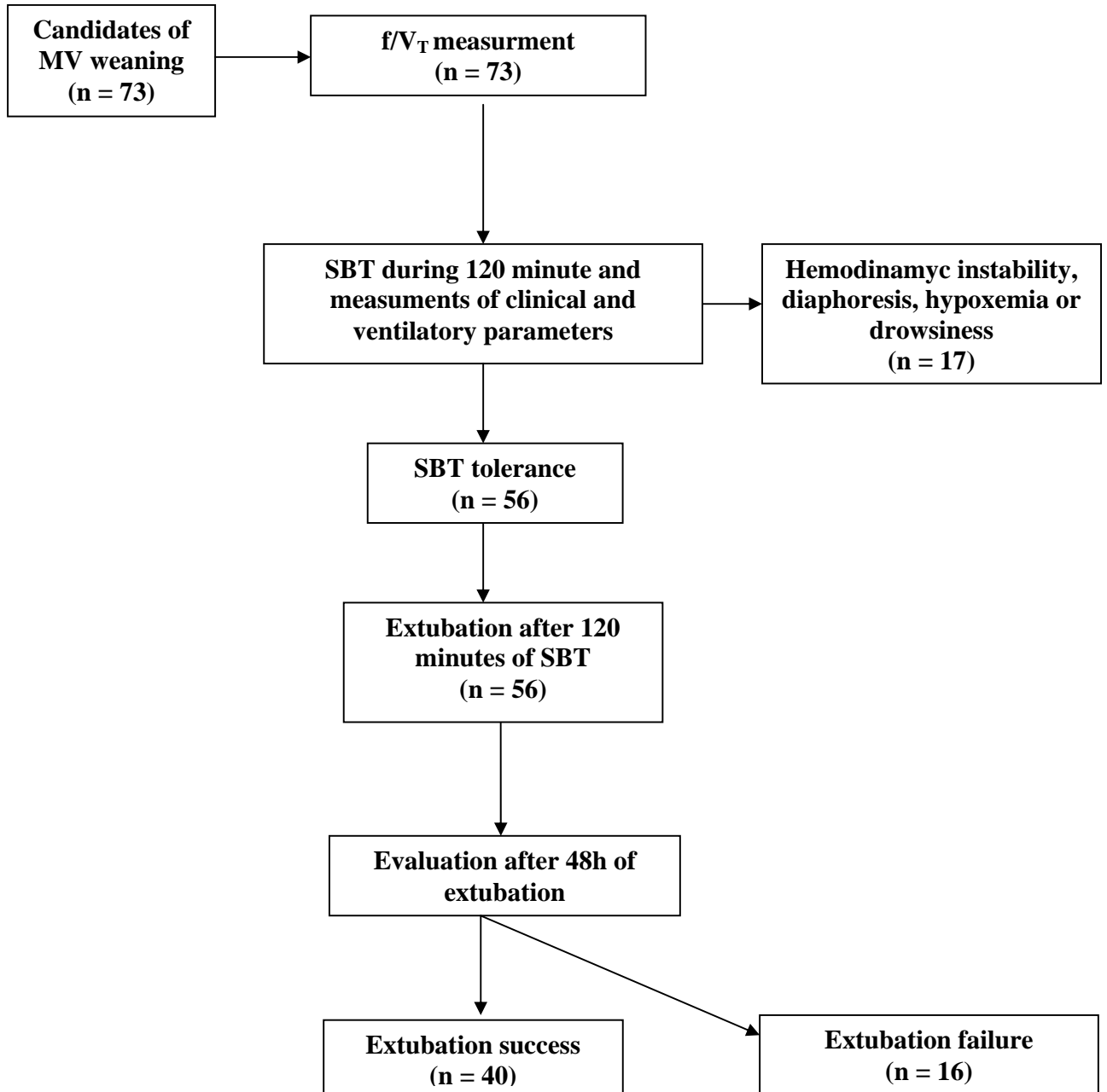




Table 1: Patients Characteristics

Characteristics	n * (%)
<b>Sex</b>	
- Male	41 (56.1)
- Female	32 (44.9)
<b>Age, yr</b>	66.3 ± 15.7
<b>Apache II score</b>	18.6 ± 6.4
<b>Days on mechanical ventilation</b>	9.8 ± 5.2
<b>Diagnosis</b>	
- Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD), Pulmonary Fibrosis and Bronchiectasies	26 (35.6)
- Post-Surgical **	20 (27.4)
- Septic Shock <sup>16</sup>	13 (17.8)
- Stroke	7 (9.7)
- Neuromuscular Diseases ***	2 (2.7)
- Cirrhosis	2 (2.7)
- Eclampsia	2 (2.7)
- Cardiogenic Shock Post-Acute Myocardial Infarction	1 (1.4)
<b>Respiratory Insufficiency Etiology</b>	
- Pneumonia	48 (65.8)
- Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) <sup>17</sup>	12 (16.5)
- Coma or hypercapnia	9 (12.3)
- Cardiogenic Pulmonary Edema	2 (2.7)
- Pulmonary Embolism	2 (2.7)
<b>Dynamic Compliance (mL/cmH<sub>2</sub>O)</b>	52.6 ± 19.7
<b>Airway and Ventilatory Circuit Resistance (cmH<sub>2</sub>O/L/s<sup>2</sup>)</b>	22.2 ± 9.9
<b>Successful SBT during 120 minutes</b>	56 (76.7)
<b>Successfully Weaned (56 patients)</b>	40 (57.4)
<b>Mortality</b>	17 (23.3)

\* Data presented as mean ± SD

\*\* Vascular, urological, orthopedic, pulmonary and gastrointestinal ocologyc surgery

\*\*\* Miasthenya gravis and Guillain-Barré Syndrome

Table 2: Outcome and parameters ( $\pm$  DP)

<b>Variables</b>	<b>Weaning Success (n = 40)</b>	<b>Weaning Failure (n = 16)</b>	<b>SBT intolerance (n = 17)</b>	<b>p *</b>
Male	27	5	19	0.08
Apache II score	15.6 $\pm$ 6.5	18.4 $\pm$ 4.4	20.2 $\pm$ 5.3	0.09
f/V <sub>T</sub> -1	62 $\pm$ 29	82 $\pm$ 30	83 $\pm$ 22	0.01
f/V <sub>T</sub> -30	63 $\pm$ 22	85 $\pm$ 24	-	0.08
f/V <sub>T</sub> -120	65 $\pm$ 26	88 $\pm$ 20	-	0.07
Pulmonary disease	10	6	10	0.12
ICU mortality	0	8	9	-

\* p comparing weaning success with weaning failure or SBT intolerance

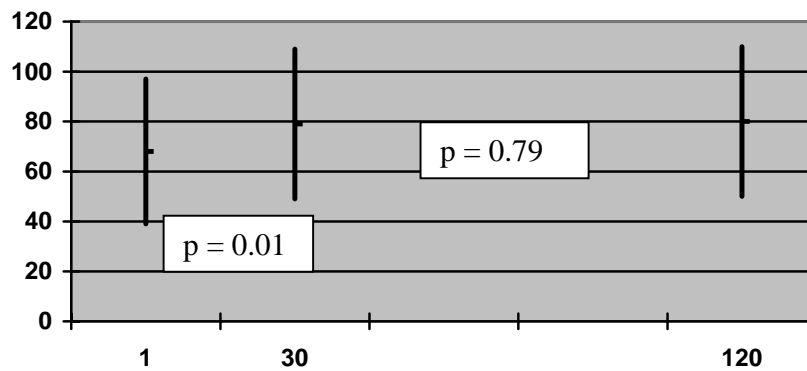


Figure 2:  $f/V_T$  serial measurements during 120 minutes of SBT ( $n = 56$ ). Mean  $\pm$  SD at 1<sup>th</sup> minute, 30<sup>th</sup> minute and 120<sup>th</sup> minute are represented.  $f/V_{T-1}$  and  $f/V_{T-30}$  ( $68 \pm 30$  vs.  $79 \pm 44$ ;  $p = 0.01$ ) and  $f/V_{T-1}$  and  $f/V_{T-120}$  ( $68 \pm 30$  vs.  $81 \pm 42$ ;  $p = 0.09$ ) was different. Did not difference at  $f/V_{T-30}$  and  $f/V_{T-120}$  ( $79 \pm 44$  vs.  $81 \pm 42$ ;  $p = 0.79$ ).

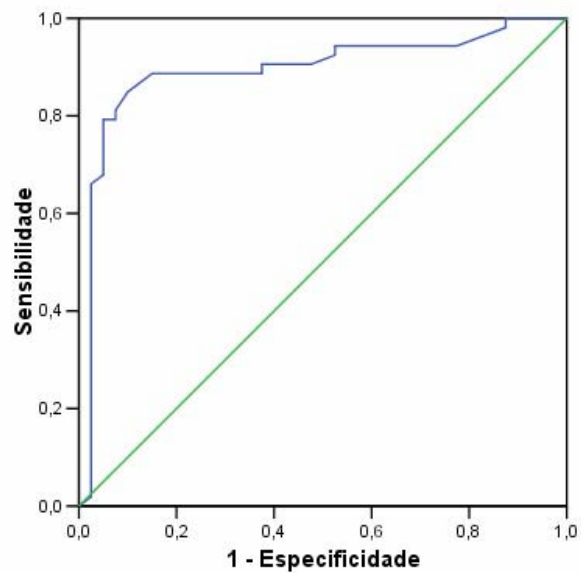


Figure 3: ROC-curve of  $f/V_T-1$  ( $n = 73$ ). Area under the curve is 0.89 (95% IC 0.82 – 0.97). The values find between 14 - 181.

Table 3:  $f/V_{T-1}$  sensibility, specificity, PPV and NPV of 73 patients. \*

$f/V_{T-1}$	Sensibility	Specificity	PPV	NPV
<b>85</b>	87%	86%	0.78	0.89
<b>105</b>	72%	95%	0.60	0.94

\* 85 was  $f/V_{T-1}$  with better predictive accuracy.

## References

159. Jubran A, Tobin MJ. Discontinuation of ventilatory support. In: Marini JJ, Slutsky AS. Physiological basis of ventilatory support. New York: Marcel Dekker; 1998:1283-1313.
160. Tobin MJ, Jubran A, Laghi F. Respiratory muscle fatigue and weaning. In: Marini JJ, Evans TW. Acute lung injury. New York: Springer; 1997:282-298.
161. Cohen C, Zagenbaum G, Gross D, Roussos C, MacKlein PT. Clinical manifestations of inspiratory muscle fatigue. *Am J Med* 1982; 73:308-316.
162. Tobin MJ, Perez W, Guenther SM, Semmes BJ, et al. The pattern of breathing during successful and unsuccessful trials of weaning from mechanical ventilation. *Am Ver Respir Dis* 1989; 134:1111-1118.
163. Ely EW, Meade MO, Haponik EF, Kollef MH, et al. Mechanical ventilator weaning protocols driven by nonphysicians health-care professionals: Evidence-based clinical practice guidelines. *Chest* 2001; 120:454S-463S.
164. Meade MO, Guyatt G, Cook D, Griffith L, et al. Predicting success in weaning from mechanical ventilation. *Chest* 2001; 120:400S-424S.
165. MacIntyre NR, Cook DJ, Ely EW, Epstein SK, et al. Evidence-based guidelines for weaning and discontinuing ventilatory support

- A collective task force facilitated by the American College of Chest Physicians; the American Association for Respiratory Care; and the American College of Critical Care Medicine. *Chest* 2001; 120:375A-395A / *Respir Care* 2002; 47:69-90.
166. Conti G, Montini L, Pennisi MA, Cavaliere F, et al. A prospective, blinded evaluation of indexes proposed to predict weaning from mechanical ventilation. *Int Care Med* 2004; 30:830-836.
167. Yang KL, Tobin MJ. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *NEJM* 1991; 324:1445-1450.
168. Lee KH, Hui KP, Chan TB, Tan WC, et al. Rapid shallow breathing (frequency-tidal volume ratio) did not predict extubation outcome. *Chest* 1994; 105:540-543.
169. Mohsenifar Z, Hay A, Hay J, Lewis MI, et al. Gastric intramural pH as a predictor of success or failure in weaning patients from mechanical ventilation. *Ann Intern Med* 1993; 119:794-798.
170. Epstein SK. Etiology of extubation failure and the predictive value of the rapid shallow breathing index. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 152:545-549.
171. Vallverdú I, Calaf N, Subirana M, Net A, et al. Clinical characteristics, respiratory functional parameters, and outcome of two-hour T-piece trial in patients weaning from mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158:1855-1862.

172. Konttnerus JA, van Well C, Muris JW. Evaluation of diagnostic procedures. *BMJ* 2002; 324:477-480.
173. Knaus WA, Draper EA, Wagner DP, Zimmerman JE. APACHE II: a severity of disease classification system. *Crit Care Med* 1985; 10:818-829.
174. Bone RC, Balk RA, Cerra FB, Dellinger AM, et al. American College of Chest Physicians / Society of Critical Care Medicine Consensus Conference Committee. Definitions of sepsis and organ failure and guidelines for use of innovative therapies in sepsis. *Chest* 1992; 101:1644-1655.
175. Artigas A, Bernard GR, Carlet J, Dreyfuss D, et al. The American-European Consensus Conference on ARDS, part 2 – ventilatory, pharmacologic, supportive therapy, study design strategies and issues related to recovery and remodeling. *Int Care Med* 1998; 24:378-398.
176. Banner MJ, Kirby RR, Kirton OC, DeHaven CB, et al. Breathing frequency and pattern are poor predictors of work of breathing in patients receiving pressure support ventilation. *Chest* 1995; 108:1338-1344.
177. Johannigman JA, Davis Jr. K, Campbell RS, Branson RD, et al. Use of the rapid/shallow breathing index as an indicator of patient work of breathing during pressure support ventilation. *Surgery* 1997; 122:737-741.



178. Epstein SK, Ciubotaru RL. Influence of gender and endotraqueal tube size on preextubation breathing pattern. *Am J Respir Crit Care Med* 1996; 154:1647-1652.
179. Chatila W, Jacob B, Guaglionone D, Manthous CA. The unassisted respiratory rate-tidal volume ratio accurately predicts weaning outcome. *Am J Med* 1996; 101:61-67.
180. Epstein SK, Ciubotaru RL. Independent effects of etiology of failure and time to reintubation on outcome for patients failing extubation. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158:489-493.
181. Shikora AS. The oxygen cost of breathing may predict weaning from mechanical ventilation better than the respiratory rate to tidal volume ratio. *Arch Surg* 1994; 129:269-274.
182. Sassoon CSH, Mahute CK. Airway occlusion pressure and breathing pattern as predictors of weaning outcome. *Am Ver Respir Dis* 1993; 148:860-866.
183. Namen AM, Ely EW, Tatter SB, Case LD, et al. Predictors of successful extubation in neurosurgical patients. *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 163:658-664.
184. Krieger BP, Ershowsky PF, Becker DA, Gazeroglu HB. Evaluation of conventional criteria for predicting successful weaning from mechanical ventilatory support in elderly patients. *Crit Care Med* 1989; 9:858-861.
185. Krieger BP, Isber J, Breitenbucher A, Throop G, et al. Serial measurements of the rapid-shallow-breathing index as a predictor

- of weaning outcome in elderly medical patients. *Chest* 1997; 112:1029-1034.
186. Epstein SK, Ciubotaru RL, Wong JB. Effect of failed extubation on the outcome of mechanical ventilation. *Chest* 1997; 112:186-192.
187. Gandia F, Blanco J. Evaluation of indexes predicting the outcome of ventilator weaning and value of adding supplemental inspiratory load. *Int Care Med* 1992; 18:327-333.
188. Leitch EA, Moran JL, Grealy B. Weaning and extubation in the intensive care unit. Clinical or index-driven approach. *Int Care Med* 1996; 22:752-759.

## **Continuous Evaluation of Work of Breathing: A Predictor of Success in Weaning From Mechanical Ventilation?**

Cassiano Teixeira MD <sup>1,2</sup>

Paulo José Zimmermann Teixeira MD, PhD <sup>1,3</sup>

Patrícia Pickersgill de Leon MD <sup>1</sup>

Eubrandio Silvestre Oliveira MD <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Intensivists of Pavilhão Pereira Filho Respiratory Intensive Care Unit and General Intensive Care Unit, Complexo Hospitalar da Santa Casa, Porto Alegre, Brazil.

<sup>2</sup> Professor of FFFCMPA Medical School, Porto Alegre, Brazil.

<sup>3</sup> Professor of FEEVALE University Center, Novo Hamburgo, Brazil.

This study was developed in Pavilhão Pereira Filho Respiratory Intensive Care Unit and General Intensive Care Unit, Complexo Hospitalar da Santa Casa, Porto Alegre, Brazil.

## Abstract

**Study objectives:** To evaluate the work of breathing (WOB) behavior during 120 minutes of spontaneous breathing trial (SBT) and its predictive value of weaning success and failure.

**Design:** A prospective clinical study.

**Setting:** Two general intensive care units.

**Patients:** Fifty-one non-selected patients ventilated for more than 48 hours, with frequency to tidal volume ( $f/V_T$ ) in the first minute less than 105 who had clinically tolerated SBT during 120 minutes and were extubated.

**Methods:** The cases were continuously monitored during 120 minutes of SBT by respiratory monitoring system VENTRAK<sup>®</sup> 1500 (Medical Novamatrix Systems, Wallingford; CT). The respiratory mechanics data and the WOB were analyzed in the first minute (WOB1), in the 30th minute (WOB30) and in the 120th minute (WOB120).

**Results:** Successful weaning occurred in 74.5% of the cases. The APACHE II score, sex, respiratory rate, days on mechanical ventilation, baseline disease, presence of pulmonary disease and cause of respiratory insufficiency were not able to predict the outcomes. The WOB significantly increased during SBT in all patients. The measure of WOB1 and WOB30 did not differ ( $0.21 \pm 0.12$  J/L vs.  $0.24 \pm 0.16$  J/L;  $p = 0.09$ ). The WOB120 increased in relation to WOB1 ( $0.28 \pm 0.21$  J/L vs.  $0.21 \pm 0.12$  J/L;  $p < 0.01$ ) and to WOB30 ( $0.28 \pm 0.21$  J/L vs.  $0.24 \pm 0.16$  J/L;  $p = 0.03$ ). This was more pronounced in weaning failed patients

( $0.39 \pm 0.27$  J/L vs.  $0.24 \pm 0.17$  J/L;  $p = 0.02$ ). The area under the ROC curve was 0.65 and 0.26 J/L was the better cut off value for predicting weaning outcome, with 63% of sensitivity, 62% of specificity, 0.82 of positive predictive value and 0.36 of negative predictive value.

**Conclusion:** The maintenance of the SBT determined WOB increase. This finding was associated with greater probability of weaning failure.

**Key words:**

Mechanical ventilation

Respiratory rate (frequency) to tidal volume

Spontaneous breathing trial

Weaning predictors

Work of breathing

### **Abbreviation list**

APACHE II = acute physiology and chronic health evaluation II score

COPD = chronic obstructive pulmonary disease

ETT = endotraqueal tube

$f/V_T$  = respiratory rate (frequency) to tidal volume

GCS = Glasgow coma scale

ICU = Intensive Care Unit

J/L = joules per liter

MIP = maximum inspiratory pressure

MV = mechanical ventilation

NPV = negative predictive value

PPV = positive predictive value

Paw = airway pressure

Pes = esophageal pressure

RR = respiratory rate

SBT = spontaneous breathing trial

$V_E$  = minute ventilation

$VO_2$  = oxygen consumption

WOB = work of breathing

WOB1 = work of breathing in first minute

WOB30 = work of breathing in 30th minute

WOB120 = work of breathing in 120th minute

## Introduction

The weaning process comprises the reduction of the invasive ventilatory support to the withdrawal of the endotracheal tube (ETT). Approximately 40% of the time that patients spend on mechanical ventilation (MV) represents the discontinuation process. Failure occurs when there is an imbalance between respiratory muscle capacity and ventilatory load<sup>1,2</sup>. The clinical signals are greatly delayed and the precocious detection of muscle fatigue is the most efficient way to reduce the weaning failures<sup>3</sup>. The spontaneous breathing trial (SBT) during 30 or 120 minutes did not demonstrate differences in weaning success (77%). There is no consensus in what clinical, ventilatory, hemodynamic or physiological parameters must be applied for weaning prediction<sup>4-6</sup>. The most frequently used parameters are the respiratory rate to tidal volume index ( $f/V_T$ ) and the maximum inspiratory pressure (MIP), although with conflicting results<sup>5,7</sup>.

The work of breathing (WOB) adequately reflects the mechanical properties of the lung and the thoracic cage. It depends on the minute ventilation ( $V_E$ ), tidal volume ( $V_T$ ), pulmonary compliance and airway resistance<sup>8</sup>. Although the evaluation of the WOB could be accurate, the specific equipments for bedside analysis frequently demonstrate misinterpretation results<sup>9-12</sup>. The WOB can be measured through of oxygen consumption ( $VO_2$ ) or through the evaluation of the pressure-volume curve (Campbell diagram). The Campbell diagram translates fast data interpretation and accurate clinical correlation<sup>10</sup>.



The WOB has been considered a good weaning predictor since its evaluation does not demand patient cooperation and it raises precociously in the cases of weaning failure<sup>9,13,14</sup>. Values between 0.6 and 1.34 joules per liter (J/L) are considered success predictors<sup>15</sup>. Some authors<sup>8,9,13,16</sup> have described WOB isolated values capable of predicting weaning success or failure, using measures of esophageal pressure. Henning et al.<sup>17</sup> showed that transpulmonary work with esophageal balloon did not improve on the discrimination between ventilator dependent and independent patients when compared to airway work alone. The latter being a less complex and easier technique performed at the bedside.

Respiratory muscle fatigue is the major cause of weaning failure and current data demonstrate similar success extubation rates with 30 or 120 minutes of SBT. The objective of this study was to evaluate the WOB behavior during 120 minutes of WOB and its relation to weaning success and failure.

## Patients and methods

This study was carried out between July of 2002 and December of 2003 in 2 medical-surgical Intensive Care Units (ICU) at Complexo Hospitalar da Santa Casa de Porto Alegre - Brazil (Pavilhão Pereira Filho Respiratory Intensive Care Unit and General Intensive Care Unit). A total of 51 mechanically ventilated-dependent patients more than 48 hours with SERVO 900C® (SIEMENS-ELEMA AB; Sweden) were studied. All patients were at least 16 years old and the weaning indication was defined by the staff assistant of each ICU. The weaning criteria were: improvement or a resolution of the acute disease phase, adequate oxygenation ( $\text{PaO}_2 > 60$  mmHg on  $\text{FIO}_2 < 0.4$ ,  $\text{PEEP} < 8$  cmH<sub>2</sub>O,  $\text{PaO}_2/\text{FIO}_2 > 250$ ), stable cardiovascular system (HR < 130 and no or minimal pressors), afebrile, adequate hemoglobine ( $\text{H}_g\text{b} > 8$  g/dL), adequate mentation (arousal, GCS > 13, no continuous sedative infusions), adequate cough, acceptable acid-basic and electrolytes <sup>6</sup>.

After the interruption of the invasive ventilatory support, the patient should be in a SBT with 5 L/min oxygen humidified T-tube. The  $f/V_T$  calculates the ratio of respiratory rate (RR) and  $V_T$  measured with a respirometer AINCA Model 295 (Eletronic to respirometer; USA), during one minute of monitoring. The maximal inspiratory pressure (MIP) was measured with a manometer (Support Famabra - Brazil) and defined as the most negative value produced by 3 consecutive inspiratory trials against a unidirectional valve.

The protocol defined 120 minutes in SBT and extubation after those with  $f/V_T < 105$  and  $\text{MIP} < - 30$  cmH<sub>2</sub>O in the first minute of the test. SBT

intolerance was defined as: RR > 35 breaths/min, SpO<sub>2</sub> < 90%, HR > 130 beats/min. or changes > 20%, change in mental status (drowsiness, coma, agitation, anxiety), worsening of uncomfotability, diaphoresis or signs of increase work of breathing (use of accessory respiratory muscles or thoracoabdominal paradox) <sup>6</sup>. These patients returned using ventilatory support and were excluded, as well as those tracheotomy patients or ETT < 8 millimeters.

All cases had been continuously monitored during 120 minutes of SBT using the respiratory monitoring system VENTRAK<sup>®</sup> 1500 (Medical Novamatrix Systems, Wallingford; CT) as previously described <sup>18-22</sup>. The monitor was connected to an appropriate microcomputer for interpreting respiratory curves data. The inspiratory and expiratory flows were carried out by a pre-calibrated pneumotacograph situated between the bacterial filter of the T-tube and the Y-tube of oxygen offer, as described by HENNING et al <sup>17</sup>. The respiratory mechanics data had derived continuously from the inspiratory and expiratory flow-curves. The average values of WOB was distributed in graphs of tendencies and analyzed in the first minute (WOB1), in the 30th minute (WOB30) and in the 120th minute (WOB120) of SBT. The WOB unit of measure employed was joules per liters (J/L) <sup>12</sup>. The age, sex, APACHE II score (acute physiology and chronic evaluation of health), baseline disease, etiology of respiratory insufficiency and time on MV were also collected <sup>23</sup>.

The study was approved by the Ethics in Research Committee of the hospital and the Informed Consent was presented and agreed upon by the family of the patients.

### **Data and Statistical Analysis**

Data is expressed as mean value  $\pm$  standard deviation (SD). Two-by-two comparisons were carried out using a two-tailed paired *t*-test of continuous variables with normal distribution and *Qui-square* test of categoric variables, including the *Fisher*-test. Some data is expressed as a percentage of the group. The predictive performance of the most important variables was also evaluated by calculating the area under the receiver operating characteristic (ROC) curve using a computer program (*Statistical Package for Social Science* version 11.0 (SPSS 11.0 – SPSS Inc; Chicago, USA). Using a two-by-two table in which each of the cells contained true positive (TP), false positive (FP), false negative (FN), and true negative (TN) results, the sensitivity [ $TP/(TP + FN)$ ], specificity [ $TN/(TN + FP)$ ], positive predictive value [ $PPV = TP/(TP + FP)$ ], and negative predictive value [ $NPV = TN/(TN + FN)$ ] of these variables were calculated <sup>24</sup>.

## Results

Fifty-one patients with  $f/V_T < 105$  in the first minute and completed 120 minutes of SBT were extubated and followed during 48 hours. Weaning success occurred in 74.5% (38/51) (table 1). Thirteen patients (24.5%) were reintubated in the first 48 hours.

Mean age was 61.4, male gender 58.8%, mean APACHE II score 15.3, which predicts a intrahospitalar mortality of 11-22%<sup>23</sup>. Of the 51 patients, 37.2% (19/51) had underlying pulmonary illness. Of the 13 reintubated patients, 7 had hipoxemia, 3 had diaphoresis and use of the accessory respiratory muscles, 2 had hemodynamic instability and one had pulmonary cardiogenic edema. There was no evidence of reintubation due to airway obstruction caused by glottis edema.

Data were analyzed for prediction of weaning success or failure. APACHE II score, sex, respiratory rate, pulmonary disease and respiratory insufficiency etiology had not been able to predict an outcome (table 2). Figure 1 shows that the WOB significantly increased during the SBT in all patients. The WOB<sub>120</sub> increased in relation to WOB<sub>1</sub> ( $0.28 \pm 0.21$  J/L vs.  $0.21 \pm 0.12$  J/L;  $p < 0.01$ ) and to WOB<sub>30</sub> ( $0.28 \pm 0.21$  J/L vs.  $0.24 \pm 0.16$  J/L;  $p = 0.03$ ). This was more pronounced in the weaning failed patients ( $0.39 \pm 0.27$  J/L vs.  $0.24 \pm 0.17$  J/L;  $p = 0.02$ ).

The increase in the WOB during SBT was greater in those patients who failed in the extubation (WOB<sub>120</sub> =  $0.39 \pm 0.27$  J/L vs.  $0.24 \pm 0.17$  J/L;  $p = 0.02$ ) (figure 2). The WOB<sub>1</sub> ( $0.23 \pm 0.14$  J/L vs.  $0.20 \pm 0.13$  J/L;  $p = 0.73$ ) and

WOB30 ( $0.27 \pm 0.18$  J/L vs.  $0.23 \pm 0.15$  J/L;  $p = 0.12$ ) was not different in weaning failed and success patients, respectively. The area under the WOB120 ROC curve was 0.65, with 95% confidence interval of 0.46 until 0.83 (figure 3). The value of 0.26 J/L was found as being the cut off value of better predicting weaning success or failure, with sensitivity of 63%, specificity of 62%, PPV of 82% and NPV of 36%.

## Discussion

This study showed that the WOB increased as the SBT time and it was able to predict weaning success and failure in patients with  $f/V_T < 105$ .

The parameters generally used to predict weaning had low sensibility and specificity, and clinical applicability to individual patients is weak<sup>6</sup>. The shallow-breathing index ( $f/V_T$ ), described by Yang, translates a physiological adaptation of the muscles in order to avoid the fatigue and the cut off 105 represents the best predictive capacity (sensitivity: 72%, specificity: 95%, PPV: 0.78 and NPV: 0.95)<sup>7</sup>. Many authors, however, disagree of its application to all ICU critically ill patients<sup>27-33</sup>.

The study of Esteban et al., evaluating 256 randomized patients to 30 and 120 minutes of SBT, found similar rates of weaning success (75.9% vs. 73%;  $p = 0.43$ ), demonstrating that the SBT time did not influence the outcome<sup>34</sup>. However, the ETT offer an additional WOB load to the patients, and physiological studies describe that ETT reduces the airway caliber, modifies the respiratory mechanics and creates a turbulent air flow<sup>35-37</sup>. Brochard et al. evaluated 11 patients and demonstrated an increase WOB in the intubated patients when compared to the same measure after extubation ( $8.2 \pm 5.1$  J/min vs.  $6.3 \pm 3.7$  J/min, respectively)<sup>38</sup>. Contrary to these results, Straus et al. studied 14 successfully extubated patients and did not find differences in WOB in the beginning of the test, after 2 hours of SBT and after extubation<sup>39</sup>. Although we had not assessed the value of the post-extubation WOB, our results shows that it increased during the time of SBT ( $WOB_{10} = 0.21 \pm 0.12$  J/L vs.  $WOB_{120} = 0.28 \pm$

0.21 J/L;  $p < 0.01$ ) and it demonstrates that the ETT imposed a ventilatory overload, since all the patients had good performance to tolerate extubation.

The WOB varies related to the ETT diameter. The smaller tube sizes the greater the WOB. This resistance is secondary to airway turbulent gas flow and to the blockage of internal wall due to adhered secretion<sup>43</sup>. Kirton et al. showed that approximately 80% of the total WOB was due to ventilatory apparatus and not only to respiratory muscles<sup>11</sup>. Based on this and other authors we excluded patients with ETT smaller than 8 mm size<sup>44-48</sup>.

The value of the WOB that indicates the probability for weaning varies from 0.47 J/L to 1.44 J/L<sup>8,47</sup>. The studies defined these values using post-ROC analysis at one specific moment of measurement during the weaning<sup>8-11,16,17,47</sup>. This variability could be explained by using different equipments and techniques of measurements, heterogeneous populations and bacterial filters uses in the ventilatory circuits. The most frequent way to measure the WOB is obtained using the transpulmonar pressure (Pes – Paw), that is considered the technique which allows us the better precision. On the other hand, the necessity of an esophagic catheter difficult its bedside use. The authors had described the values of WOB using the Campbell diagram analysis or oxygen consumption evaluation ( $VO_2$ ) and 0.47 J/L or 3.9 J/min. are considered predictors<sup>14,49-51</sup>. In our study we found 0.39 J/L as the value that better predicted weaning failure. When evaluating the ROC analysis, the value of 0.26 J/L demonstrated the better prediction for successful weaning. The analysis of 0.47 J/L as the cut off point for weaning failure, presented better specificity (89%) but low sensitivity (31%), demonstranting lower capacity to detect the weaning failure cases.



Table 3 summarizes the studies that evaluated the WOB for weaning prediction. Levy et al. suggested that the WOB was not capable to discriminate the success and failure in the weaning process. The authors explained their results by the fact that they used theoretical values found for healthy adolescents as the cut off (0.75 J/L) and their patients were COPD and obese in the majority<sup>13</sup>. Krieger et al. and DeHaven et al. demonstrated that tachypnea during SBT does not necessarily represent respiratory muscle fatigue<sup>53,54</sup>. In these studies, the patients who tolerated ventilatory discontinuation presented physiological WOB < 0.8 J/L and tachypnea was attributed to ventilatory overload, pain, fever, anxiety or sedative drugs abstinence.

The major contribution of this study is to demonstrate that the continuous analysis of the WOB during SBT is capable to predict weaning success or failure. In the weaning failure patients, the WOB on average increased during 120 minutes of SBT (WOB<sub>1</sub> = 0.23 J/L vs. WOB<sub>120</sub> = 0.39 J/L; p = 0.01) and it permits us to infer that the ETT could be the responsible for its failure. Previous studies extracted the WOB values from short and prompt periods of evaluation. The continuous analysis probably offers a trustworthy indication of the respiratory fatigue progression and we believe that isolated measurement of WOB fails to predict outcomes in the weaning process.

In conclusion, 120 minutes of SBT probably determinates greater WOB and is associated with greater chance of weaning failure, and continuous analysis of the WOB seems to be the best way to predict it.

Table 1: Patients Characteristics.

Characteristics	n* (%)
<b>Sex</b>	
- Male	30 (58.8)
- Female	21 (41.2)
<b>Age, yr</b>	61.4 ± 12.7
<b>Apache II score</b>	9.3 ± 4.9
<b>Days on mechanical ventilation</b>	9.2 ± 5.5
<b>Diagnoses</b>	
- Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD), Pulmonary Fibrosis and Bronchiectasies	19 (37.2)
- Post-Surgical **	10 (19.6)
- Septic Shock <sup>25</sup>	10 (19.6)
- Stroke	6 (12.2)
- Neuromuscular Diseases***	2 (3.8)
- Cirrhosis	2 (3.8)
- Eclampsia	1 (1.9)
- Cardiogenic Shock Post-Acute Myocardial Infarction	1 (1.9)
<b>Respiratory Insufficiency Etiology</b>	
- Pneumonia	33 (64.4)
- Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) <sup>26</sup>	10 (19.6)
- Coma or hypercapnia	6 (12.2)
- Cardiogenic Pulmonary Edema	1 (1.9)
- Pulmonary Embolism	1 (1.9)
<b>Dynamic Compliance (mL/cmH<sub>2</sub>O)</b>	54.1 ± 19.9
<b>Airway and ventilatory circuit resistance (cmH<sub>2</sub>O/L/s<sup>2</sup>)</b>	17.2 ± 9.6
<b>Successfully Weaned</b>	38 (74.5)
<b>Mortality</b>	8 (15.7)

\* Data presented as mean ± SD

\*\* Vascular, urological, orthopedic, pulmonary and gastrointestinal oncologic surgery

\*\*\* Myasthenia gravis and Guillain-Barré Syndrome

Table 2: Clinical and ventilatory parameters

<b>Parameters *</b>	<b>Successfully Weaned (38 pacientes)</b>	<b>Failed Weaned (13 pacientes)</b>
Age, yr	60.6 ± 15.9	63.7 ± 6.1
Sex	25 male	5 male
Pulmonary Disease	11	8
Days of Mechanical Ventilation	8.9 ± 4.9	10.3 ± 4.6
Pneumonia	25	8
Apache II score	15.7 ± 6.5	18.1 ± 4.8
RR (30 minutes) **	28 ± 3.2	29 ± 2.9
RR (120 minutes) **	28 ± 3.6	28 ± 4.1
Dynamic Compliance (mL/cmH <sub>2</sub> O)	58.9 ± 18.5	45.2 ± 11.6 ††
Airway and ventilatory circuit resistance (cmH <sub>2</sub> O/L/s <sup>2</sup> )	15.7 ± 9.4	22.5 ± 9.9 ††

†† p < 0.05 compared to successfully weaned group

\* Data presented as mean ± SD

\*\* RR = respiratory rate, breaths of minute

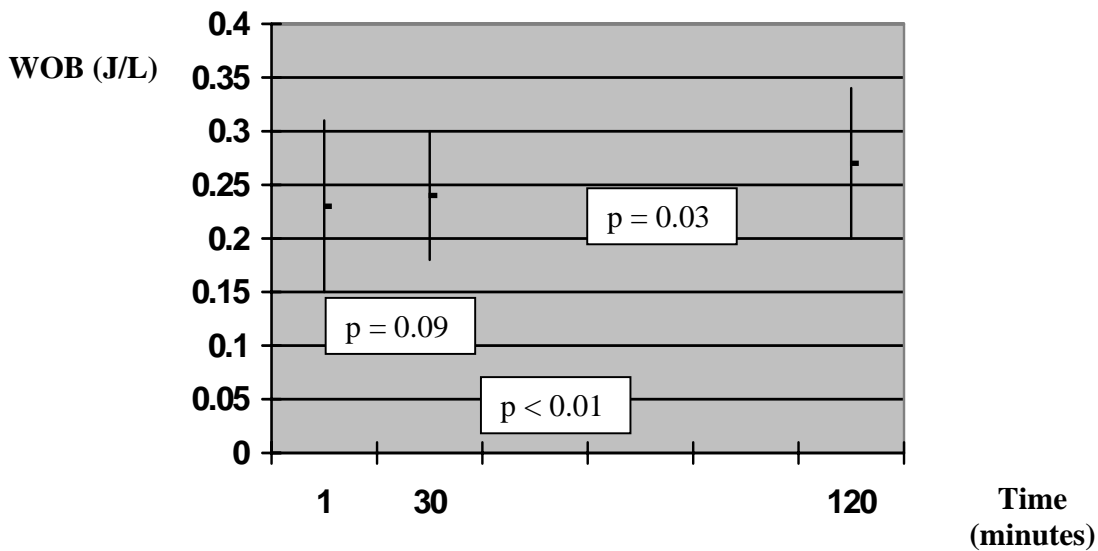


Figure 1: Work of breathing (WOB) evolution during 120 minutes of SBT. Data expressed as mean value  $\pm$  standard deviation ( $M \pm SD$ ). The WOB values in the first and thirty minute had not differed (WOB1 =  $0.21 \pm 0.12$  J/L vs. WOB30 =  $0.24 \pm 0.16$  J/L;  $p = 0.09$ ). However, the comparison of WOB30 with WOB120 showed significant difference ( $0.24 \pm 0.16$  J/L vs.  $0.28 \pm 0.21$  J/L;  $p = 0.03$ ). This difference increase when compared the WOB1 with WOB120 ( $0.21 \pm 0.12$  J/L vs.  $0.28 \pm 0.21$  J/L;  $p < 0.01$ ).

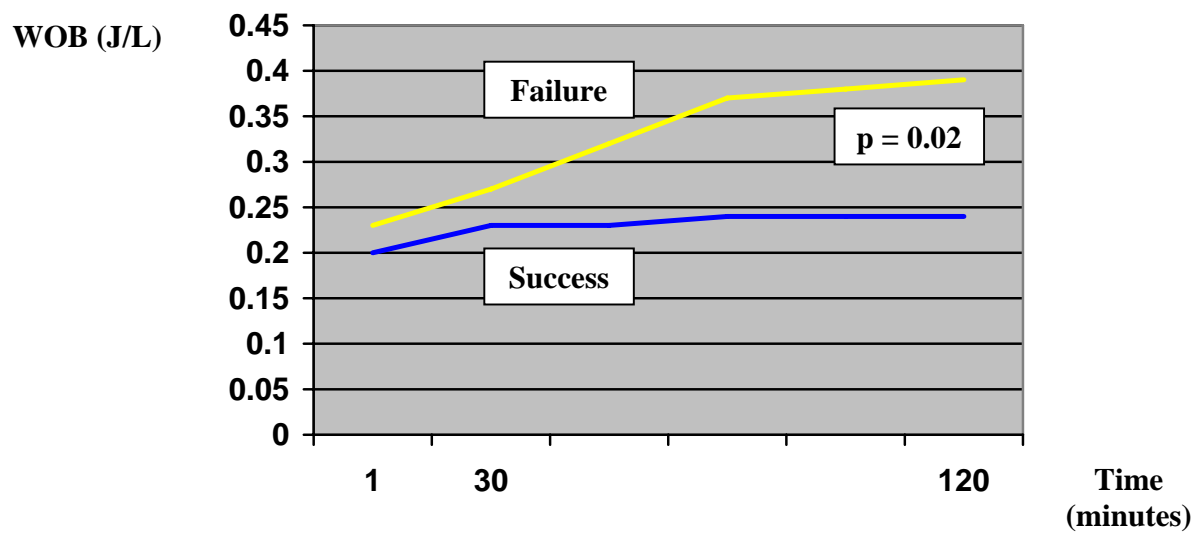


Figure 2: Evolution of the WOB during 120 minutes of SBT and its relation to weaning success or failure.

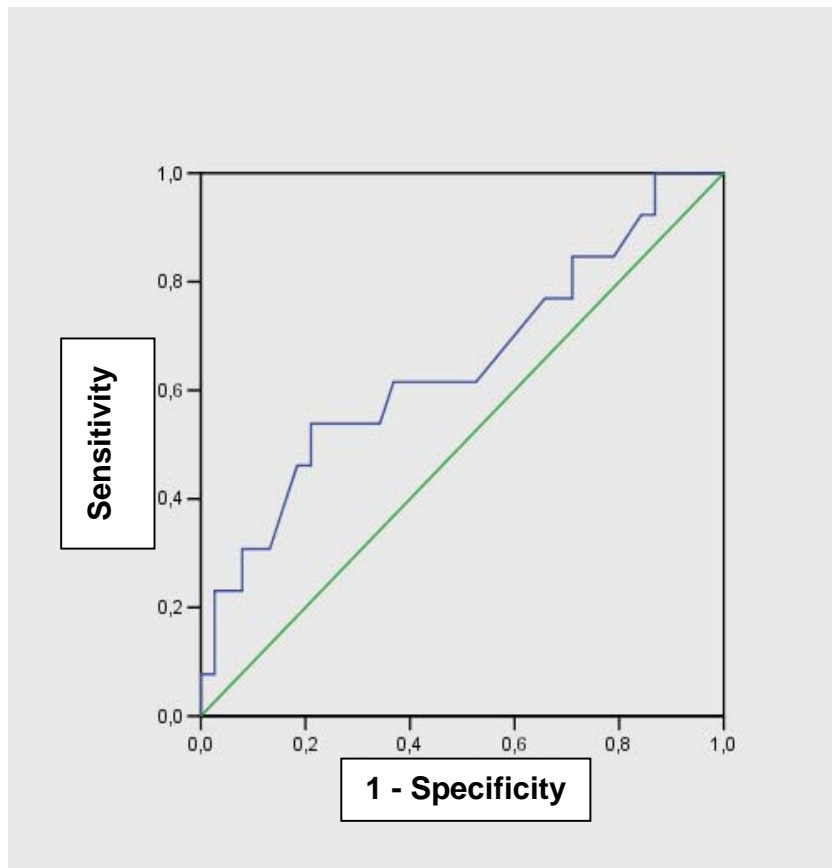


Figure 3: Receiver operating characteristic curve of work of breathing. Area under the curve is 0.65 and 95% confidence interval of 0.46 to 0.83. The value of 0.26 J/L was the better cut off point for predicting weaning success or failure with sensitivity of 63%, specificity of 62%, PPV of 0.82 and NPV of 0.36.

Table 3: Work of breathing as weaning predictor from MV.

<b>Study</b>	<b>n</b>	<b>Weaning success</b>	<b>Weaning failure</b>	<b>p</b>
Peters (1972) <sup>8</sup>	18	< 9.8 J/min / < 0.98 J/L	> 9.8 J/min / > 0.98 J/L	-
Proctor (1973) <sup>16</sup>	168	< 13.2 J/min	> 13.2 J/min	< 0.05
Henning (1977) <sup>17</sup>	38	< 9.8 J/min	> 16.6 J/min	< 0.001
Fiastro (1988) <sup>9</sup>	17	< 15.7 J/min / < 1.27 J/L	> 15.9 J/min	< 0.05
Hubmayr (1988) <sup>52</sup>	10	< 9.12 J/min.	> 11.98 J/min.	0.02
Levy (1995) <sup>13</sup>	24	< 0.75 J/L	-	-
Kirton (1995) <sup>11</sup>	28	< 0.8 J/L	> 0.8 J/L	0.44
Present Study	51	< 0.26 J/L	> 0.39 J/l	0.02

## References

189. Esteban A, Alia O, Ibanez J, et al. The Spanish Lung Failure Collaborative Group. Modes of mechanical ventilation and weaning - a National Survey of Spanish Hospitals. *Chest* 1994; 106:1188-1193.
190. Jubran A, Tobin MJ. Discontinuation of ventilatory support. In: Marini JJ, Slutsky AS. *Physiological basis of ventilatory support*. New York, NY: Marcel Dekker, 1998; 1283-1313.
191. Tobin MJ, Jubran A, Laghi F. Respiratory muscle fatigue and weaning. In: Marini JJ, Evans TW. *Acute lung injury*. New York, NY: Springer, 1997; 282-298.
192. Ely EW, Meade MO, Haponik EF, et al. Mechanical ventilator weaning protocols driven by nonphysicians health-care professionals: Evidence-based clinical practice guidelines. *Chest* 2001; 120:454S-463S.
193. Meade MO, Guyatt G, Cook D, et al. Predicting success in weaning from mechanical ventilation. *Chest* 2001; 120:400S-424S.
194. MacIntyre NR, Cook DJ, Ely EW, et al. Evidence-based guidelines for weaning and discontinuing ventilatory support – A collective task force facilitated by the American College of Chest Physicians; the American Association for Respiratory Care; and the American College of Critical Care Medicine. *Chest* 2001; 120:375A-395A / *Respir.Care* 2002; 47:69-90.



195. Yang KL, Tobin MJ. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *NEJM* 1991; 324:1445-1450.
196. Peters RM, Hilberman M, Hogan JS, et al. Objective indications for respiratory therapy in post trauma and postoperative patients. *Am.J.Surg* 1972; 124:262-269.
197. Fiastro JF, Habib MP, Shon BY, et al. Comparison of standard weaning parameters and the mechanical work of breathing in mechanically ventilated patients. *Chest* 1988; 94:232-238.
198. Banner MJ, Jaeger MJ, Kirby RR. Components of the work of breathing and implications for monitoring ventilator-dependent patients. *Crit.Care Med* 1994; 22:515-523.
199. Kirton OC, DeHaven B, Morgan JP, et al. Elevated imposed work of breathing masquerading as ventilator weaning intolerance. *Chest* 1995; 108:1021-1025.
200. Fleury B, Murciano D, Talamo C, et al. Work of breathing in patients with chronic obstructive pulmonary disease in acute respiratory failure. *Am.Ver.Respir.Dis* 1985; 131:822-827.
201. Levy MM, Miyasaki A, Langston D. Work of breathing as a weaning parameter in mechanically ventilated patients. *Chest* 1995; 108:1018-1020.
202. French CJ. Work of breathing measurement in the critically ill patient. *Anaest.Int.Care* 1999; 27:561-573.

203. Johannigman JÁ, Davis Jr. K, Campbell RS, et al. Use of the rapid/shallow breathing index as an indicator of patient work of breathing during pressure support ventilation. *Surgery* 1997; 122:737-741.
204. Proctor HJ, Woolson R. Prediction of respiratory muscle fatigue by measurements of the work of breathing. *Surg.Gynecol.Obstet* 1973; 136:367-370.
205. Henning RJ, Shubin H, Weil MH. The measurement of the work of breathing for the clinical assessment of ventilator dependence. *Crit.Care Med* 1977; 5:264-268.
206. Tobin MJ, Lagui F. Monitoring of respiratory muscle function. In: Tobin MJ. *Principles and practice of intensive care monitoring*. New York, NY: McGraw-Hill, 1998; 497-544.
207. Roske K, Foitzik B, Wauner RR, et al. Accuracy of volume measurements in mechanically ventilated newborns: a comparative study of commercial devices. *J.Clin.Monit.and Comput* 1998; 14:413-420.
208. Wenzel U, Rüdiger M, Wagner MH, et al. Utility of deadspace and capnometry measurements in determination of surfactant-depleted lungs. *Crit.Care Med* 1999; 27:946-952.
209. Manaligod JM, Bendel-Stenzel EM, Meyers PA, et al. Variations in end-expiratory pressure during partial liquid ventilation. *Chest* 2000; 117:184-190.

210. Chow LC, Vanderhal A, Raber J, et al. Are tidal volume measurements in neonatal pressure-controlled ventilation accurate? *Pediat.Pulm* 2002; 34:196-202.
211. Knaus WA, Draper EA, Wagner DP, et al. APACHE II: a severity of disease classification system. *Crit.Care Med* 1985; 10:818-829.
212. Knottnerus JÁ, van Well C, Muris JW. Evaluation of diagnostic procedures. *BMJ* 2002; 324:477-480.
213. Bone RC, Balk RA, Cerra FB, et al. American College of Chest Physicians / Society of Critical Care Medicine Consensus Conference Committee. Definitions of sepsis and organ failure and guidelines for use of innovative therapies in sepsis. *Chest* 1992; 101:1644-1655.
214. Artigas A, Bernard GR, Carlet J, et al. The American-European Consensus Conference on ARDS, part 2 – ventilatory, pharmacologic, supportive therapy, study design strategies and issues related to recovery and remodeling. *Intens.Care Med* 1998; 24:378-398.
215. Mohsenifar Z, Hay A, Hay J, et al. Gastric intramural pH as a predictor of success or failure in weaning patients from mechanical ventilation. *Ann.Intern.Med* 1993; 119:794-798.
216. Lee KH, Hui KP, Chan TB, et al. Rapid shallow breathing (frequency-tidal volume ratio) did not predict extubation outcome. *Chest* 1994; 105:540-543.
217. Shikora AS. The oxygen cost of breathing may predict weaning from mechanical ventilation better than the respiratory rate to tidal volume ratio. *Arch. Surg* 1994; 129: 269-274.

218. Epstein SK. Etiology of extubation failure and the predictive value of the rapid shallow breathing index. *Am.J.Respir.Crit.Care Med* 1995; 152:545-549.
219. Chatila W, Jacob B, Guaglionone D, et al. The unassisted respiratory rate-tidal volume ratio accurately predicts weaning outcome. *Am.J.Med* 1996; 101:61-67.
220. Epstein SK, Ciubotaru RL, Wong JB. Effect of failed extubation on the outcome of mechanical ventilation. *Chest* 1997; 112:186-192.
221. Vallverdu I, Calaf N, Subirana M, et al. Clinical characteristics, respiratory functional parameters, and outcome of two-hour T-piece trial in patients weaning from mechanical ventilation. *Am.J.Respir.Crit.Care Med* 1998; 158:1855-1862.
222. Esteban A, Alia I, Tobin MJ, et al. The Spanish Lung Failure Collaborative Group. Effect of spontaneous trial duration on outcome of attempts to discontinue mechanical ventilation. *Am.J.Respir.Crit.Care Med* 1999; 159:512-518.
223. Sullivan M; Paliotta J, Sakland M. Endotracheal tube as a factor in measurement of respiratory mechanics. *J.Appl.Physiol* 1976; 41:590-592.
224. Kaplan JD, Schuster DP. Physiologic consequences of tracheal intubation. *Clin.Chest Med* 1991; 12:425-432.
225. Bock KR, Silver P, Rom M, et al. Reduction in tracheal lumen due to endotracheal intubation and its calculated clinical significance. *Chest* 2000; 118:468-472.

226. Brochard L, Rua F, Lorino H, et al. Inspiratory pressure support compensates for the additional work of breathing caused by the endotracheal tube. *Anesthesiology* 1991; 75:739-754.
227. Straus C, Louis B, Isabey D, et al. Contribution of the endotracheal tube and the upper airway to breathing workload. *Am.J.Respir.Crit.Care Med* 1998; 157:23-30.
228. Nathan SD, Ishaaya AM, Koerner SK, et al. Prediction of minimal pressure support during weaning from mechanical ventilation. *Chest* 1993; 103:1215-1219.
229. Ishaaya AM, Nathan SD, Belman MJ. Work of breathing after extubation. *Chest* 1995; 107:204-209.
230. Mehta S, Nelson DL, Klinger JR, et al. Prediction of post-extubation work breathing. *Crit.Care Med* 2000; 28:1341-1346.
231. Moran JL, Homan S, O`Fathartaigh M, et al. Inspiratory work imposed by continuous positive airway pressure (CPAP) machines: the effect of CPAP level and endotracheal tube size. *Inten.Care Med* 1992; 18:148-154.
232. Conti G, De Biasi RA, Lappa A, et al. Evaluation of respiratory system resistance in mechanically ventilated patients: the role of endotracheal tube. *Int.Care Med* 1994; 20:421-424.
233. Berstein AD, Rutten AJ, Vedig AE, et al. Additional work of breathing imposed by endotracheal tubes, breathing circuits, and intensive care ventilators. *Crit.Care Med* 1989; 17:671-677.

234. Shapiro M, Wilson RK, Casar G, et al. Work of breathing through different sized endotraqueal tubes. *Crit.Care Med* 1986; 14:1028-1031.
235. Fiastro JF, Habib MP, Quan SF. Pressure support compensation for inspiratory work due to endotracheal tubes and demand continuous positive airway pressure. *Chest* 1988; 93:499-505.
236. Bolder PM, Healy TE, Bolder AR, et al. The extra work of breathing through adult endotraqueal tubes. *Anesth.Analg* 1986; 65:853-859.
237. Shikora AS, Bistrrian BR, Borlase BC, et al. Work of breathing: reliable predictor of weaning and extubation. *Crit.Care Med* 1990; 18:157-162.
238. Tobin MJ. Monitoring respiratory mechanics in spontaneously breathing patients. In: Tobin MJ. *Principles and practice of intensive care monitoring*. New York, NY: McGraw-Hill, 1998; 617-654.
239. Sassoon CSH, Mahute CK. Work of breathing during mechanical ventilation. In: Marini JJ, Slutsky AS. *Physiological basis of ventilatory support*. New York, NY: Marcel Dekker, 1998; 261-310.
240. Krieger BP, Chediak A, Gazeroglu HB, et al. Variability of the breathing pattern before and after extubation. *Chest* 1988; 93:767-771.
241. DeHaven CB, Kirton OC, Morgan JP, et al. Breathing measurement reduces false-negative classification of tachypneic preextubation trial failures. *Crit.Care Med* 1996; 24:976-980.
242. Hubmayr RD, Loosbrock LM, Gillespie DJ, et al. Oxygen uptake during weaning from mechanical ventilation. *Chest* 1988; 94:1148-1155.