

Universidade de Brasília
Faculdade de Medicina
Programa de Pós-Graduação em Ciências Médicas

**Determinação dos Valores de Referência
das Pressões respiratórias estáticas
máximas na lesão medular traumática.**

Aluno
Sergio Ricardo Menezes Mateus

Orientador
Paulo S.S. Beraldo

Universidade de Brasília
Faculdade de Medicina
Programa de Pós-Graduação em Ciências Médicas

Aluno
Sergio Ricardo Menezes Mateus

**Determinação dos Valores de Referência
das Pressões respiratórias estáticas
máximas na lesão medular traumática.**

Tese apresentada à Faculdade de Medicina
da Universidade de Brasília, para obtenção
do título de Doutor em Ciências Médicas.
Orientador: **Dr. Paulo S.S. Beraldo**

Brasília – DF
2006

Mateus, Sergio R.M.

Determinação dos Valores de Referência das Pressões respiratórias estáticas máximas na lesão medular traumática / Sergio R. M. Mateus. – Brasília, 2006.

108p. :il.

Orientador: Paulo S. S. Beraldo

Tese (Doutorado) – Faculdade de Medicina. Programa de Pós-Graduação em Ciências médicas, 2006.

1. Lesão Medular 2. Pressões Respiratórias Máximas 3. Teste de Função Pulmonar. 4. Equações de Previsão. 5. Espirometria. 6. Análise de Regressão Múltipla. I Beraldo, Paulo S. S. II Título



DOCTORADO

1 - Identificação do Aluno

Nome Sergio Ricardo Menezes Mateus	Matricula 03/45113
Curso Ciências Médicas	
Área de Concentração Doutorado em Ciências Médicas - Ciências Aplicadas em Saúde	Código 7951
	Departamento FMD

2 - Sessão de Defesa de Tese

Título
"Determinação dos Valores de Referência das Pressões Respiratórias Estáticas Máximas na Lesão Medular Traumática"

3 - Comissão Examinadora

Nome	Função	Assinatura
Paulo Sérgio Siebra Beraldo (Doutor)	Membro Externo não vinculado ao programa (Presidente) Hospital Sarah Kubitschek	<i>[Handwritten Signature]</i>
PAULO TAVARES (Doutor)	Membro Interno vinculado ao programa Fundação Universidade de Brasília	<i>[Handwritten Signature]</i>
VERONICA MOREIRA AMADO (Doutor)	Membro Interno não vinculado ao programa Faculdade de Medicina	<i>[Handwritten Signature]</i>
Ada Clarice Gastaldi (Doutor)	Membro Externo não vinculado ao programa Universidade de São Paulo	<i>[Handwritten Signature]</i> Ada C. Gastaldi
Marcos Renato de Assis (Doutor)	Membro Externo não vinculado ao programa Hospital Sarah Kubitschek	<i>[Handwritten Signature]</i>
Maurício Gomes Pereira (Doutor)	Membro Externo não vinculado ao programa (Suplente) Universidade de Brasília	<i>[Handwritten Signature]</i>

4 - Resultado

A Comissão Examinadora, em 07/12/2006 após exame da Defesa de Tese e arguição do candidato, decidiu:

- Pela aprovação da Tese
- Pela reprovação da Tese
- Pela revisão de forma, indicando o prazo de 30 dias para apresentação definitiva.
- Pela reformulação da Tese, indicando o prazo de _____ para nova versão.

Preencher somente em caso de revisão de forma:

- O aluno apresentou a revisão de forma e a Tese foi aprovada.
- O aluno apresentou a revisão de forma e a Tese foi reprovada.
- O aluno não apresentou a revisão de forma.

Autenticação
Presidente da Comissão Examinadora
[Handwritten Signature]
07/12/06 Data Assinatura/Carimbo

Autenticação
Coordenador do Curso
[Handwritten Signature]
07/12/06 Data
Prof. Leonardo Luiz dos Santos Neto
Coordenador de Pós-graduação em Ciências Médicas
Faculdade de Medicina - UnB

Ciente
Aluno
07/12/06 Data Assinatura/Aluno
[Handwritten Signature]

Aprovação do Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação

Decisão:
 Homologar
_____/_____/_____
Data

Assinatura do Decano

Agradeço primeiramente ao amigo fiel, **JESUS**, por sempre acreditar em mim e proporcionar os meios de concretizar todos os projetos traçados por **DEUS** para minha vida.

À minha família, **Josie** (esposa) e às filhas **Mariana** e **Ana Luísa**, que em todo momento torceram e oraram à **DEUS** para concretização deste sonho.

Aos meus pais, **Irenio** (in memoriam) e **Maria do Carmo** e aos **meus irmãos**.

Minha profunda gratidão:

Ao **Dr. Paulo Sérgio Siebra Beraldo** - Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação, da Universidade **SARAH**, orientador e amigo, pelo permanente apoio e incentivo desde os meus primeiros passos na pesquisa científica.

Bem-aventurado o homem que acha sabedoria, e o
homem que adquire conhecimento.
Porque melhor é a sua mercadoria do que a mercadoria
de prata, e a sua renda do que o ouro mais fino.
Mais preciosa é do que os rubins; e tudo o que podes
desejar não se pode comparar a ela.

Provérbios 3:13-15.

Minha gratidão

Ao **Dr. Aloysio Campos da Paz Jr.** – Presidente e Cirurgião-Chefe da Rede SARAH de Hospitais de Reabilitação e à **Dra. Lúcia Willadino Braga** – Diretora executiva, por viabilizarem e apoiarem a presente pesquisa.

Aos **pacientes**, fonte de incentivo e inspiração ao conhecimento, que se dispuseram a realizar o exame, colaborando de maneira singular na pesquisa.

Aos secretários do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Medicina da Universidade de Brasília, em especial, **Gledson Alessandro Ribeiro da Silva** e a **Hérika Menezes** pela gentileza e respeito em todos os momentos.

Ao **Comitê da Terapia Funcional**, em especial a **Suzana Grassi da Costa Silva** - exemplo de liderança e profissionalismo, pelo apoio e incentivo ao crescimento profissional.

À **Enfermeira Ana América Gonçalves Silva** e à **Enfermagem do Programa de Alto Risco**, pela colaboração no desenvolvimento desta pesquisa, cujo espírito de equipe foi decisivo.

À **Equipe do Programa Lesado Medular** do Hospital SARAH/Centro, cuja colaboração foi indispensável para seleção dos participantes e pela reprogramação da agenda dos pacientes no dia da avaliação pulmonar.

Ao Setor de Manutenção do SARAH/Centro, em especial ao **Eng. Marcos Antônio Dias Lima** pela manutenção e calibração periódica dos equipamentos de função pulmonar.

À **Prof^a. Denise Mafra Gonçalves** e **Maria Lucia Alves Vieira**, pela revisão do texto.

Ao **Dr. Abel Portilho Magalhaes Jr.** pela revisão do material, bem como as sugestões.

Aos estatísticos do Controle de Qualidade da Rede SARAH, **Luiz Guilherme, Sandro, Érica, Gecy** e a **Flávia** que incansavelmente orientaram e revisaram a análise estatística.

Ao **Prof. Eduardo Freitas da Silva** pela orientação do tratamento estatístico da presente investigação.

Ao **Antônio Carlos Araújo Correia** e ao **Wilton Lins Conceição** pela confecção do bocal rígido utilizado na aferição das pressões respiratórias máximas.

Aos **fotógrafos Adélio Alves Barbosa** e **Silvio Antonio da S. Pereira**, pela documentação fotográfica.

Ao **Armando de Melo Salmito Jr** e **Daniel Matos Correia**, pela edição digital de algumas imagens.

Aos funcionários da Biblioteca do SARAH/Centro, que se empenharam na aquisição de muitas das bibliografias citadas nesta obra.

Sumário

Resumo.....	viii
Abstract.....	ix
Listas	
Tabelas.....	x
Figuras.....	xii
Anexos.....	xiii
Abreviatura e siglas.....	xiv
1. Introdução	1
1.1. Lesão medular traumática.....	1
1.1.1. Epidemiologia.....	1
1.1.2. Definição	2
1.1.3. Classificação.....	2
1.1.4. Evolução e complicações clínicas	3
1.2. Músculos respiratórios.....	4
1.3. Avaliação funcional respiratória.....	8
1.3.1. Espirometria	8
1.3.2. Teste dos músculos respiratórios.....	9
1.3.2.1. Pressões respiratórias estáticas máximas.....	9
1.4. Alterações e complicações respiratórias na lesão medular traumática.....	14
1.4.1. Função pulmonar na lesão medular traumática	17
1.4.1.1. Espirometria	17
1.4.1.2. Pressões respiratórias estáticas máximas.....	20
2. Objetivos.....	27
3. Casuística, Material e Métodos	28
3.1. Casuística.....	28
3.2. Procedimentos	29
3.2.1. Espirometria	29
3.2.2. Pressões respiratórias estáticas máximas.....	31
3.3. Descrição das variáveis	34
3.4. Análise e tratamento estatístico	37
3.4.1. Análise dos maiores valores em função da repetição das manobras	38
3.4.2. Correlação e regressão simples com nível da lesão.....	38
3.4.3. Regressão linear múltipla	39
4. Resultados e comentários.....	41
4.1. Caracterização espirométrica.....	41
4.2. Pressões respiratórias máximas	42
4.2.1. Maiores valores em função da repetição das manobras	42
4.2.2. Pressões respiratórias estáticas máximas x nível da lesão.....	44
4.2.3. Análise multivariada: desenvolvimento dos modelos de previsão.....	49
4.2.3.1. Definição do tipo de modelo multivariado	49
4.2.3.2. Análise univariada	49
4.2.3.3. Análise de regressão linear simples.....	52
4.2.3.4. Análise da colinearidade.....	55
4.2.3.5. Variáveis testadas no modelo de regressão linear múltiplo.....	58
4.2.3.5.1. Análise da variável independente tabagismo.....	59

4.2.3.5.2. Análise da variável independente extensão da lesão	60
4.2.4. Análise da multicolinearidade	62
4.2.5. Avaliação da coerência e habilidade para prever os valores teóricos.....	62
4.2.6. Modelos finais e comentários	67
4.2.6.1 Pressão inspiratória máxima	67
4.2.6.2 Pressão expiratória máxima.....	68
5. Discussão	69
6. Conclusão	80
7. Bibliografia.....	82
8. Anexos.....	92

Resumo

Introdução: As alterações pulmonares nos indivíduos com lesão medular traumática, principalmente tetraplégicos, contribuem para elevação de suas taxas de morbidade e mortalidade. A síndrome restritiva nesses pacientes é conhecida e justifica-se pela fraqueza ou paralisia dos músculos respiratórios. A determinação das pressões respiratórias máximas compõe a caracterização da função pulmonar, além da espirometria e determinação de volumes pulmonares. **Objetivo:** Descrever as alterações espirométricas; mensurar as pressões inspiratória e expiratória estáticas máximas; correlacionar os valores médios dos percentuais dos previstos das pressões respiratórias estáticas máximas com o nível motor da lesão medular traumática e estabelecer equações dos valores previstos das pressões inspiratória e expiratória estáticas máximas para os indivíduos com lesão medular traumática. **Casuística, Material e Métodos:** Foram estudados 131 pacientes com lesão medular traumática de nível motor entre C4 e L3. Os pacientes foram agrupados em tetraplégicos (52, 40%, divididos em subgrupos de C4-C5 e C6-C8) e paraplégicos (79, 60%, divididos em subgrupos de T1-T6 e T7-L3). Independentemente do nível da lesão, a amostra foi composta por 90 homens, com idade média de 31 ± 12 anos; tempo médio de lesão de 25 ± 37 meses; 76% com lesão motora completa e 31% com história de tabagismo. A avaliação da função pulmonar foi realizada, por espirometria e por medidas das pressões inspiratória (PIMáx) e expiratória (PEMáx). O registro da pressão foi obtido com oclusão do sistema na capacidade pulmonar total para PEMáx e no volume residual para PIMáx. Conduzida análise de regressão linear simples em 99 pacientes com lesão medular motora completa. Foi realizada a análise de regressão múltipla, com base nas variáveis relacionadas ao indivíduo e clínicas: nível, extensão e tempo de lesão. **Resultados:** Considerando os percentuais do previsto, a capacidade vital forçada foi diferente entre os subgrupos ($P < 0,001$), com tendência de elevação a partir dos pacientes com lesão cervical alta ($49\% \pm 25$) até os níveis mais baixos ($84\% \pm 15$). A PImáx média variou de 56 ± 28 a 101 ± 34 cmH₂O, e a PEMáx média variou de 39 ± 29 a 103 ± 32 cmH₂O. A regressão linear simples entre nível motor específico da lesão e os valores médios percentuais dos previstos das pressões respiratórias estáticas máximas foi melhor para PEMáx ($r = 0,81$, $P < 0,0001$; $r^2 = 0,65$), em relação a PIMáx ($r = 0,62$, $P = 0,004$; $r^2 = 0,38$). Os modelos multivariados apresentaram como variável independente o gênero e o nível motor da lesão, para ambas as pressões. Para PIMáx, o peso e a história de tabagismo também foram considerados e para PEMáx, a extensão da lesão. Os coeficientes de determinação ajustados R^2 foram de 0,44 e 0,50, respectivamente para PImáx e PEMáx. **Conclusão:** Os resultados confirmam a restrição pulmonar, principalmente entre os tetraplégicos, com normalidade para os paraplégicos baixos. As equações de previsão obtidas foram baseadas em uma casuística considerável em se tratando de pacientes com lesão medular traumática. A próxima etapa dessa investigação será sua validação em uma população distinta, com lesão medular, quando então teremos a resposta definitiva sobre sua utilidade clínica.

Abstract

Introduction: Pulmonary alterations encountered in spinal cord injury individuals, particularly those with tetraplegia, contribute to their increased morbidity and mortality rates. The pulmonary restriction syndrome of these patients is well known. It is caused by weakness or paralysis of the respiratory muscles. The measurement of maximal respiratory pressures, spirometry and pulmonary volumes characterize their pulmonary dysfunction. **Objective:** To describe the spirometric alterations; to measure the maximal static inspiratory and expiratory pressures; to correlate the mean values of the percentage predicted maximal static respiratory pressures with the spinal cord motor injury level; and to establish predictive equations for maximal static inspiratory and expiratory for the individuals with traumatic spinal cord injury. **Subjects, Material, and Methods:** One hundred and thirty one individuals with traumatic spinal cord injury, with motor level between C4 and L3, were analyzed. The patients were divided into groups of patients with tetraplegia (52, 40%, subdivided into two groups of injury level: C4-C5 and C6-C8) and a group of patients with paraplegia (79, 60%, subdivided into two groups of injury level: T1-T6 and T7-L3). The sample contained 90 men, had a mean age of 31 ± 12 years, with a mean time post injury of 25 ± 37 months, with complete motor lesion in 76% and 31% were smokers. Pulmonary function evaluation was made by spirometry and the measurement of the inspiratory (MIP) and expiratory (MEP) pressures. The pressure data was obtained with the occlusion of the system at total pulmonary capacity for MEP and at residual volume for MIP. Simple linear regression was conducted in 99 patients with complete motor spinal cord injury. Multiple linear regression was conducted for the individual and clinical variables of level, extension and time post injury and degree of spasticity. **Results:** the predicted percentage of forced vital capacity varied among the subgroups ($P < 0,001$), with cervical lesion patients showing lowest percentage predicted ($49\% \pm 25$) and patients with paraplegia the highest ($84\% \pm 15$). Mean MIP varied from 56 ± 28 to 101 ± 34 cmH₂O, and mean MEP varied from 39 ± 29 to 103 ± 33 cmH₂O. The simple linear regression between a specific motor level and the mean percent predicted of maximal respiratory pressures showed a stronger correlation for MEP ($r = 0.81$, $P < 0.0001$; $r^2 = 0.65$) that for MIP ($r = 0.62$, $P = 0.004$; $r^2 = 0.38$). The multiple linear regression identified gender and motor lesion level as independent variables predictive of both MIP and MEP. Weight and smoking factors influenced MIP whereas lesion extension influenced MEP. The coefficient of determination adjusted (R^2) were 0.44 and 0.50, respectively for MIP and MEP. **Conclusion:** the results confirm pulmonary restriction, mainly among patients with tetraplegia, and no restriction in patients with lower lesions (paraplegia). The predicted equations obtained were based on a substantial number of subjects with traumatic spinal cord injury. The next stage of this investigation will be its validation in other populations of patients with spinal cord lesions, to determine its clinical applicability.

Lista de tabelas

Tabela 1 – Classificação da extensão da lesão medular.....	3
Tabela 2 - Músculos chaves do nível motor da lesão.....	3
Tabela 3 – Sumário dos principais artigos que constam a utilização da mensuração das pressões respiratórias máximas em pacientes com lesão medular traumática.....	23
Tabela 4 - Caracterização dos pacientes.....	30
Tabela 5 – Escala de Asworth.....	37
Tabela 6 – Valores médios e o desvio padrão das pressões respiratórias máximas.....	46
Tabela 7 - Análise univariada das variáveis categóricas.....	50
Tabela 8 - Pressões respiratórias estáticas máximas em relação das variáveis categóricas.....	54
Tabela 9 – Análise de correlação entre as variáveis contínuas e potencialmente independentes.....	58
Tabela 10 – Análise da variável tabagismo em relação aos modelos de regressão linear múltipla.....	60
Tabela 11 – Análise da variável extensão da lesão (ASIA) modelos de regressão linear múltipla.....	61
Tabela 12 – Modelos lineares multivariados das pressões respiratórias estáticas máximas.....	61
Tabela 13 – Coeficientes e os fatores inflatores da variância (VIF) dos modelos multivariados.....	62
Tabela 14 - <i>Outliers</i> constados nos valores residuais <i>studentized</i> da pressão inspiratória estática máxima.....	64
Tabela 15 - <i>Outliers</i> constados nos valores residuais <i>studentized</i> na pressão expiratória estática máxima.....	65
Tabela 16 – Valores médios, e os respectivos intervalos de confiança dos coeficientes das variáveis independentes das pressões inspiratórias estáticas máximas a partir da análise do <i>bootstrap</i>	66
Tabela 17 - Valores médios, e os respectivos intervalos de confiança dos coeficientes das variáveis independentes das pressões expiratórias estáticas máximas a partir da análise do <i>bootstrap</i>	66
Tabela 18 – Participação das variáveis nos modelos lineares multivariados para PIMáx pelo <i>bootstrap</i>	66

Tabela 19 – Participação das variáveis nos modelos lineares multivariados para PIMáx pelo <i>bootstrap</i>	67
Tabela 20 – Sumário dos principais estudos publicados sobre equações de previsão das pressões respiratórias estáticas máximas.....	71

Lista de figuras

Figura 1 - Volumes e capacidades pulmonares.....	19
Figura 2 - Segmentação dos músculos respiratórios.....	21
Figura 3 – Detalhamento da metodologia de aferição das pressões.....	33
Figura 4 – Registro das pressões respiratórias.....	35
Figura 5 – Valores médios e desvio-padrão (\pm DP) do percentual do previsto da capacidade vital forçada e do volume expiratório forçado no 1º segundo.....	41
Figura 6 - Histograma de frequência do percentual dos maiores valores da pressão inspiratória.....	43
Figura 7 - Histograma de frequência do percentual dos maiores valores da pressão expiratória.....	43
Figura 8 - Valores médios e desvio padrão do percentual do previsto das pressões respiratórias máximas.....	45
Figura 9 – Regressão linear simples entre as pressões respiratórias estáticas máximas e o nível motor da lesão.....	48
Figura 10 – Distribuição do nível motor da lesão medular.....	51
Figura 11 – Correlação linear simples entre as pressões respiratórias estáticas máximas e o nível da lesão sem e com transformação logarítmica.....	53
Figura 12 – Painel com análise da linearidade das variáveis independentes categóricas, como <i>dummy</i> em relação à pressão inspiratória estática máxima.....	56
Figura 13 – Painel com análise da linearidade das variáveis independentes categóricas, como <i>dummy</i> em relação à pressão expiratória estática máxima.....	57
Figura 14 – Avaliação gráfica dos resíduos <i>studentized</i> da pressão inspiratória estática máxima.....	64
Figura 15 – Avaliação gráfica dos resíduos <i>studentized</i> da pressão expiratória estática máxima.....	65

Lista de Anexos

Anexo A - Termo de consentimento.....	92
Anexo B - Equação de previsão de Black e Hyatt das pressões respiratórias estáticas máximas.....	93
Anexo C - Tabela com os valores médios e o desvio-padrão da espirometria forçada...	94
Anexo D - Tabela com os valores médios e o desvio-padrão das pressões inspiratórias estáticas máximas em cmH ₂ O da seqüência dos quatro testes e o coeficiente de variação.....	95
Anexo E - Tabela com os valores médios e o desvio-padrão das pressões expiratórias estáticas máximas em cmH ₂ O da seqüência dos quatro testes e o coeficiente de variação.....	95
Anexo F – Tabela com análise descritiva das variáveis contínuas.....	96
Anexo G – Gráficos das distribuições das freqüências das variáveis contínuas.....	97
Anexo H - Tabela com análise de correlação entre a pressão inspiratória estática máxima e as variáveis contínuas.....	98
Anexo I - Gráfico da dispersão entre a pressão inspiratória estática máxima e a variável potencialmente independente contínua.....	99
Anexo J - Gráfico de dispersão entre a pressão expiratória estática máxima e a variável potencialmente independente contínua.....	100
Anexo L – Tabela com análise de correlação entre a pressão expiratória estática máxima e as variáveis contínuas.....	101
Anexo M - Artigo - Maximal static mouth respiratory pressure in spinal cord injured patients: correlation with motor level.....	102

Abreviaturas e Siglas utilizadas

	Definição
ASIA	<i>American Spinal Injury Association</i>
ATS	<i>American Thoracic Society</i>
CVF	Capacidade vital forçada
<i>Dummy</i>	Variável dicotômica múltipla
FEF _{x%}	Fluxo expiratório forçado nos percentuais de 25, 50 e 75% da capacidade vital forçada
PEM _{áx}	Pressão expiratória estática máxima
PFE	Pico de fluxo expiratório
PIM _{áx}	Pressão inspiratória estática máxima
IC	Intervalo de confiança
IMC	Índice de massa corpórea
r	Coefficiente de correlação
r ²	Coefficiente de determinação simples
R ²	Coefficiente de determinação múltiplo
VEF ₁	Volume expiratório forçado no 1º segundo
VEF ₁ /CVF%	Razão entre o volume expiratório forçado no 1º segundo e a capacidade vital forçada
VIF	Fatores inflatores da variância

1. Introdução

1.1. Lesão medular traumática

1.1.1. Epidemiologia

Os estudos que investigaram os aspectos epidemiológicos da lesão medular apresentaram delineamentos diferentes e, em parte por esse motivo, são encontradas variações nos resultados das frequências. Nesse sentido, a estimativa da incidência é de 13 a 40 casos por 1 milhão de habitantes/ano, atingindo um total de onze mil casos/ano nos Estados Unidos da América (EUA). Já a estimativa da prevalência oscila entre 110 a 1120 por 1 milhão de habitantes e nos EUA se aproxima de um total de 250.000 casos. Importante destacar que a lesão medular traumática é mais prevalente nos homens jovens, com idade abaixo de 30 anos. A relação entre homem e mulher é de 4:1, com variação de 2,5:1 a 5:1.^{1:2} Quanto à distribuição em relação ao nível da lesão, a maior frequência é cervical, com 55% e 15% em cada um dos níveis seguintes, torácico (T1-T11), toracolombar (T11-T12 a L1-L2) e lombossacro (L2-S5).³ Em relação à extensão da lesão, completa (A) ou incompleta (B, C e D), classificada pela *American Spinal Injury Association* (ASIA), apresenta a seguinte distribuição: A (45%), B (15%), C (10%) e D (30%).³

No Brasil, infelizmente, os dados epidemiológicos atualizados em lesão medular não se encontram facilmente disponíveis na literatura. No entanto, um dos poucos estudos brasileiros foi conduzido pelo Sistema Integrado de Traumatologia e Ortopedia (SIRTO), órgão criado pelo Ministério da Saúde que investigou a prevalência da lesão medular traumática nas enfermarias de ortopedia e traumatologia de 36 hospitais públicos, em sete capitais brasileiras. Essa pesquisa evidenciou uma

prevalência de 8,6%, sendo que 80,6% dos pacientes eram do sexo masculino e causas mais freqüentes da lesão foram: os acidentes automobilísticos (41,7%), as lesões por arma de fogo (26,9%) e as quedas (14,8%) como.⁴

1.1.2. Definição

A lesão medular é definida como qualquer agressão que a medular espinhal sofra, primária ou secundariamente, por trauma, alterações vasculares ou neoplasia. A causa mais freqüente é a traumática. Usualmente, pode ocorrer não somente por fratura-luxação da coluna, mas também por elevação da temperatura local nos casos de lesão por projétil de arma de fogo e outras formas de trauma fechado. Na coluna cervical, as articulações mais atingidas encontram-se entre a quinta e a sexta vértebra (C5-C6) e da sexta e sétima (C6-C7), enquanto, na região toracolombar, é na décima primeira torácica e na segunda vértebra lombar, T11-L2.⁵

Imediatamente após a instalação da lesão medular traumática, na fase aguda, há interrupção das vias e tractos espinhais. O quadro clínico esperado é de anestesia e paralisia dos segmentos abaixo do nível neurológico da lesão e o desequilíbrio do sistema nervoso autônomo. A primeira descrição desse cenário clínico está no papiro médico de *Edwin Smith*, escrito há aproximadamente 2.500 anos a.C., no Egito. No documento encontra-se um relato clínico sobre lesão medular traumática completa, por fratura-luxação da coluna cervical.⁶

1.1.3. Classificação

No sentido de padronizar a nomenclatura, quanto à caracterização da lesão medular traumática, a *American Spinal Injury Association* (ASIA) criou escalas para classificação, exibidas nas Tabelas 1 e 2, adotadas em vários centros de referência do mundo e também no presente estudo. Através dessas escalas, é definida a extensão e

o nível motor da lesão.⁷ Com base no exame sensitivo, tátil e doloroso dos dermatômos, e dos músculos abaixo do nível da lesão, categorizamos a extensão da lesão, que varia de A a E (Tabela 1). O nível motor é definido pelo teste manual dos músculos chaves (Tabela 2).

Tabela 1 – Classificação da extensão da lesão medular.

ASIA*	Classificação
A	Ausência de função sensitiva ou motora abaixo do nível da lesão.
B	Função sensitiva preservada abaixo do nível neurológico, incluindo S4-S5, porém, sem função motora.
C	Lesão incompleta. Função motora preservada abaixo do nível neurológico, sem presença da musculatura funcional.
D	Lesão incompleta. Função motora preservada abaixo do nível neurológico, com presença da musculatura funcional.
E	Sem evidencia de lesão. Função sensitiva e motora preservada, sem lesão medular.

*ASIA – American Spinal Injury Association⁷

Tabela 2 – Músculos-chaves que são investigados na classificação do nível motor da lesão.

Nível motor	Músculo-chave ⁷
C3-C4	Classificado pelo nível sensitivo.
C5	Bíceps
C6	Extensor de punho
C7	Extensor de cotovelo – tríceps
C8	Flexor dos dedos
T1	Abdutor do dedo mínimo
T2 – L1	Classificado pelo nível sensitivo
L2	Flexor de quadril
L5	Extensor longo do hálux
S1	Flexor plantar de tornozelo

1.1.4. Evolução e complicações clínicas

O trauma mecânico inicial na medula pode ser desencadeado por compressão, impacto, tração e laceração do tecido nervoso. Na fratura da coluna vertebral, a compressão medular ocorre inicialmente pelo deslocamento de fragmentos ósseos e/ou do material discal para o canal medular. As forças compressivas causam

lesões vasculares e axonais. O edema preenche o canal medular ocasionando isquemia e instala-se a lesão medular. Na prática clínica, o período da lesão em que o choque medular se faz presente é denominado como fase aguda. Nesse período, encontramos a flacidez muscular, caracterizada por ausência de tônus muscular, juntamente com outras alterações clínicas.⁸

As complicações clínicas mais frequentes após a lesão medular são: as infecções urinárias, com ou sem o comprometimento da função renal; o tromboembolismo venoso; as pneumonias e atelectasias; as arritmias cardíacas, predominantemente as bradiarritmias; a instabilidade hemodinâmica, com hipotensão ou hipertensão arterial; a espasticidade; a ossificação heterotópica e a úlcera de decúbito.⁹ Essas condições clínicas, bem como o seu prognóstico, guardam uma estreita relação, em menor ou maior grau, com o tempo, a extensão e o nível da lesão.^{9;10}

1.2. Músculos respiratórios

A parede torácica é constituída por dois compartimentos: caixa torácica e o abdome, que são separados por uma estrutura fina musculotendínea denominada diafragma, principal músculo da inspiração.¹¹

O diafragma é o único músculo esquelético que possui fibras que se originam de um tendão central e se inserem periféricamente em estruturas sólidas. É formado por dois componentes cuja denominação é relacionada ao local da inserção do músculo diafragma. A primeira, porção crural ou vertebral, insere-se anterolateralmente nas três primeiras vértebras lombares e na aponeurose do ligamento arqueado. Já a segunda, porção costal, insere-se no processo xifóide do esterno e na margem superior das seis costelas inferiores. Essa porção está direcionada cranialmente e justaposta na face interna e inferior da caixa torácica. O diafragma é classificado como músculo estriado esquelético, assim como os outros músculos dos membros superiores e

inferiores, porém, apresenta algumas características próprias como: maior resistência à fadiga, fluxo sanguíneo elevado, maior capacidade oxidativa e densidade capilar. Em relação à composição das fibras, aproximadamente 55% são do tipo I, classificadas de contração lenta, e o restante do tipo IIA e III.¹²

A morfologia do diafragma é cilíndrica, coberta por uma cúpula, que primariamente corresponde ao centro tendíneo. As fibras costais do diafragma estão justapostas ao gradil costal e essa área é conhecida como zona de aposição. Na posição ortostática em repouso, com as pressões do sistema respiratório equilibradas, ou seja, na capacidade residual funcional, a área de aposição preenche cerca de 30% da superfície da caixa torácica.¹³

Durante a inspiração, por contração do diafragma, três tipos de forças são desenvolvidas no deslocamento da caixa torácica. Primeiro, as fibras costais desenvolvem força em sentido cefálico sobre a margem costal. Segundo, há um aumento da pressão abdominal pela contração do diafragma, promovendo expansão sobre a caixa torácica inferior. Por último, ocorre uma redução da pressão intrapleural, agindo sobre a superfície de todo o gradil torácico.¹¹

A configuração geométrica do diafragma é a convexidade voltada para cima. No raio da curvatura pode ser aplicada a lei de Laplace ($P_{di} = T_{di}/r$), onde P_{di} =transdiafragmática; T_{di} =tensão tangencial do diafragma e r =raio da cúpula. Assim, quando o diafragma está alongado, o seu raio encontra-se reduzido, conseqüentemente, desenvolve mais tensão em relação quando aplainado e favorece o aumento do volume pulmonar.¹⁴

O volume pulmonar também influencia diretamente na ação do diafragma. Em baixos volumes, além da redução do raio da cúpula diafragmática, existe aumento da zona de aposição favorecendo a função inspiratória. Nos volumes

pulmonares elevados, o inverso é verdadeiro. Próximo à capacidade pulmonar total, a zona de aposição desaparece e o componente insercional do diafragma passa a ser expiratório. Esse fenômeno é freqüentemente presente nos pacientes com hiperinsuflação pulmonar.¹⁵

Outra particularidade mecânica do músculo diafragma diz respeito à inter-relação das hemicúpulas. No início da inspiração as porções costal e crural encontram-se ligadas mecanicamente em paralelo. Assim, as forças produzidas por cada porção são adicionadas. Após o incremento do volume pulmonar, essa ligação torna-se em série, e a força produzida por uma porção é transmitida para outra e ambas desenvolvem a mesma força, e perde-se o benefício somatório de suas ações.¹⁶

Os músculos intercostais, como o próprio nome diz, localizam-se entre as costelas. O intercostal interno vai desde o esterno até o ângulo da costela e subdivide-se em porção intercondral (paraesternal) e interóssea. O músculo intercostal externo vai desde a articulação costovertebral até a origem da cartilagem costal. São inervados pelos nervos intercostais que são derivados do 1º ao 12º segmento torácico. O músculo intercostal externo atua na inspiração, enquanto que o interno na expiração.¹⁷

Os músculos escalenos se originam nas vértebras cervicais e se inserem na borda superior da primeira costela, porção medial e anterior. Quando se contraem, elevam as costelas e o esterno, no movimento denominado “braço de bomba”. Durante a inspiração tranqüila na posição sentada, os paraesternais e os escalenos são contraídos. Assim, esses músculos, juntamente com o diafragma são considerados como motor principal da inspiração.¹⁸

Existem outros músculos acessórios que estão envolvidos na inspiração. Dentre esses podemos destacar: peitoral maior, peitoral menor, trapézio, serrátil anterior, esternocleidomastóideo e alguns músculos da laringe.¹¹

Os principais músculos expiratórios são os abdominais. Esses são compostos por reto abdominal, oblíquo interno, oblíquo externo e transverso. A inervação desses músculos tem segmentação de T6 a L1. O reto abdominal origina-se na 5ª, 6ª e 7ª cartilagens costais e no esterno, e se insere no púbis. O oblíquo externo origina-se nas últimas costelas e insere-se na crista ilíaca, tubérculo púbico e linha alba. O oblíquo interno origina-se na parte lateral do ligamento inguinal e fáscia toracolombar e se insere no púbis, linha alba e cartilagem das três últimas costelas. O transverso abdominal origina-se na face interna das seis últimas costelas, onde se cruza com as fibras costais do diafragma, fáscia lombar, crista ilíaca e ligamento inguinal, inserindo-se na aponeurose ventral do reto abdominal.¹¹

Durante a contração dos músculos abdominais, a parede abdominal é deslocada para dentro, elevando a pressão intra-abdominal. O diafragma se desloca para cima, incrementando a pressão pleural e, conseqüentemente, a expiração. Importante destacar que os músculos abdominais são os responsáveis pela tosse eficaz (função importante para a higiene brônquica), bem como pela expiração forçada. Suas inserções no gradil costal sugerem que ao contraírem tracionam as costelas para baixo. Outra importante função dos músculos abdominais diz respeito ao sinergismo durante a ação inspiratória do diafragma. A contração muscular persistente dos abdominais facilita o alongamento do diafragma no início da inspiração, além de permitir a contenção das vísceras abdominais. Ademais, favorece o apoio do centro tendíneo nas vísceras e conseqüentemente promove a elevação das costelas. Por último, auxilia na elevação do valor pressórico inspiratório, refletindo com incremento do volume pulmonar.¹¹

Como músculos acessórios da expiração contamos com: porção clavicular do peitoral maior, grande dorsal, serrátil anterior, quadrado lombar e sacrolombar.^{19;20}

1.3. Avaliação funcional respiratória

A avaliação funcional respiratória auxilia na definição do diagnóstico, na quantificação dos distúrbios ventilatórios e no acompanhamento das doenças respiratórias. Existem vários métodos de aferição da função pulmonar, no entanto iremos apresentar somente a espirometria e o teste muscular respiratório (mensuração das pressões respiratórias estáticas máximas) por terem sido os empregados na presente investigação.

1.3.1. Espirometria

A espirometria é um exame peculiar na avaliação da função pulmonar. Requer compreensão e colaboração do paciente, equipamentos exatos e emprego de técnicas padronizadas aplicadas por pessoal especialmente treinado.²¹ Assim, em determinadas circunstâncias, como na incapacidade cognitiva e na fraqueza muscular, a condução do teste torna-se bastante prejudicada.

Os parâmetros espirométricos registrados deverão ser comparados aos valores de referências, obtidos por equações de previsão com base nas características antropométricas, tais como idade, sexo, estatura e etnia, e também ao próprio indivíduo, bem como ao fator do tempo.²²

Os padrões ventilatórios determinados pela espirometria são: normal, distúrbio ventilatório restritivo, obstrutivo e misto. O distúrbio restritivo é caracterizado fisiologicamente por redução da capacidade pulmonar total. Como essa capacidade não é mensurada pela espirometria, não podemos precisar o diagnóstico de restrição. O espirômetro registra a capacidade vital lenta ou forçada que representa o maior volume de ar mobilizado. O distúrbio ventilatório obstrutivo é definido pela redução do coeficiente expiratório forçado, razão entre volume expiratório forçado no primeiro

segundo e a capacidade vital forçada (VEF_1/CVF) e o do VEF_1 . Por último, o misto que é a presença do distúrbio restritivo e do obstrutivo.²¹

Para a boa condução e interpretação da espirometria, é preciso que o indivíduo examinado realize uma expiração forçada satisfatória de pelo menos seis segundos. Para tanto, necessita de integridade da musculatura expiratória, particularmente dos músculos abdominais e dos intercostais.^{21;23} Uma outra objeção quanto a essa modalidade de avaliação diz respeito ao fato de que o esforço expiratório proporciona um balanço das pressões intrapleurais e das vias aéreas, em sentidos opostos. Além do ponto onde essas duas pressões se anulam, conhecido como ponto de igual pressão, ocorre uma compressão dinâmica das vias aéreas, com subsequente limitação ao fluxo.²⁴ Faz parte desse exame, como critério de qualidade, a realização de três a oito manobras forçadas, cuja reprodutibilidade das curvas e valores não devem diferir mais de 5% ou mais que 150ml.^{21;23}

1.3.2. Teste dos músculos respiratórios

No sistema respiratório, a força muscular é estimada por meio das pressões respiratórias estáticas máximas, da variação do volume pulmonar e do deslocamento das estruturas da parede torácica.²⁵ Existem alguns métodos de investigação que permitem detectar a consequência do distúrbio muscular respiratório. Dentre esses, podemos destacar: espirometria, avaliação dos volumes pulmonares, ventilação voluntária máxima e pressões respiratórias estáticas máximas. Sobre essa última, discorreremos com maiores detalhes por ser de interesse no presente estudo.

1.3.2.1. Pressões respiratórias estáticas máximas

A avaliação das pressões inspiratória e expiratória estáticas máximas é simples e bem tolerada pelos pacientes, principalmente por não ser invasiva. No entanto,

não se pode assegurar sempre um esforço máximo. Nos indivíduos normais, durante o esforço voluntário máximo, recrutam-se além dos músculos respiratórios principais, os acessórios. Para assegurar a qualidade do teste, é imprescindível a colaboração e a cooperação do paciente na realização do esforço máximo, de acordo com a solicitação do técnico.²⁶

A mensuração das pressões inspiratória e expiratória estáticas máximas frequentemente é conduzida por peça bucal. A aferição da pressão durante a manobra forçada reflete as pressões desenvolvidas pelos músculos respiratórios, além das propriedades elásticas do sistema respiratório, do pulmão e da parede torácica. Na capacidade residual funcional as pressões respiratórias encontram-se equilibradas, assim, as interferências daquelas propriedades estão reduzidas.²⁷ Porém, o registro da pressão máxima na capacidade residual funcional é mais difícil comparado no volume residual, ponto em que, freqüentemente, a pressão inspiratória estática máxima é mensurada, a pressão do sistema respiratório pode ser menor em até 30 cmH₂O em relação à pressão do sistema muscular. Para pressão expiratória estática máxima, o momento do registro é na capacidade pulmonar total, neste ponto a diferença encontrada é em torno de 40 cmH₂O.²⁵

A força de contração do músculo esquelético é determinada por quatro principais fatores: comprimento do músculo em repouso que antecede a contração (relação comprimento-força); encurtamento durante a contração (relação velocidade-força); força e freqüência da estimulação (relação freqüência-força); e a integridade do mecanismo de contração. Assim, as variações dessas relações ocorrem em relação ao grau de encurtamento ou alongamento muscular.^{25;28}

A ativação máxima dos músculos respiratórios produz pressão derivada da interação complexa dentro e entre os músculos, parede torácica e seus conteúdos. A

pressão desenvolvida pelos músculos inspiratórios é a responsável pela ventilação e reflete a força muscular respiratória global. As pressões respiratórias estáticas máximas são empregadas tanto para avaliação clínica, como para estudos fisiológicos. Na fraqueza muscular respiratória, a pressão inspiratória máxima pode ser mais sensível quando confrontada com a capacidade vital, obtida pela espirometria por ter uma relação curvilínea com a disfunção muscular.²⁹ A princípio, nas alterações neuromusculares, a redução da força muscular respiratória, frequentemente, ocorre antes da identificação da restrição pulmonar pelos métodos tradicionais.³⁰

A relação comprimento-tensão dos músculos respiratórios sofre variação com o volume pulmonar.³¹ De modo geral, os indivíduos examinados têm a impressão de facilidade em executar esforço inspiratório quando o volume pulmonar está baixo e o expiratório próximo da capacidade pulmonar total. Esse é um dos motivos para padronização das mensurações das pressões respiratórias estáticas máximas. Nesse sentido, a aferição da pressão inspiratória é avaliada no volume residual e a expiratória na capacidade pulmonar total.²⁸

Existem inúmeras equações de previsão para as pressões respiratórias máximas.²⁵ A variação dos resultados entre os estudos indica as diferenças inter e intra-grupos bem como a metodologia de condução do teste e do registro das pressões. Vale destacar as potenciais fontes de variação na mensuração das pressões respiratórias estáticas máximas. Dentre essas, a peça bucal, o tempo de oclusão, o diâmetro e o comprimento do escape aéreo, a contenção manual da face, o ponto de partida em relação aos volumes e às capacidades pulmonares, o posicionamento do examinado, o número de testes e a velocidade (lenta ou rápida) da manobra que antecede a pressão a ser avaliada.

O bocal do tipo rígido é o mais adequado e indicado por alguns autores para aferição das pressões respiratórias máximas. Foi constatado que o bocal com borda (*flange*) provavelmente sofre algumas interferências que reduzem o real valor das pressões respiratórias máximas.³² Importante mencionar que, independentemente do tipo de bocal, o clipe nasal é de fundamental importância, por evitar perda do fluxo aéreo pela narina e, conseqüentemente, subestimar as pressões respiratórias máximas.

O sistema de aferição necessita de escape aéreo pequeno, através de um pequeno orifício, com diâmetro interno de dois mm e 20 a 30 mm de comprimento. O objetivo dessa abertura é prevenir o fechamento da glote durante a pressão inspiratória máxima e a eliminação ou a redução do uso da musculatura da face no momento da mensuração da pressão expiratória máxima.³³ Quando comparados os orifícios (1; 1,5 e 2 milímetros), foi observado que o de dois milímetros manteve a glote aberta e preveniu outras interferências.³⁴ No entanto, encontramos na literatura um espectro maior de variação tanto do diâmetro em milímetros (0,6; 1; 1,2; 1,25 e 2), bem como no comprimento em milímetros do orifício (15, 28 e 37).

Outro aspecto, menos relevante e pouco discutido na literatura, diz respeito à contenção dos bucinadores. Esse procedimento é mais indicado quando é utilizado o bocal com bordas, por auxiliar na prevenção do escape aéreo na região perilabial,³⁵ como o vazamento é menos freqüente com o bocal do tipo rígido, torna-se dispensável a contenção.

No que diz respeito ao tempo de manutenção da oclusão para aferição das pressões, com o período de 1,5 segundo encontramos a melhor reprodutibilidade. Outra opção a ser adotada é um segundo de manutenção da pressão respiratória para o registro.²⁵ Já o pico máximo de pressão, pode sofrer outras influências não representativas da força muscular, podendo aumentar a imprecisão do teste.³⁶ A última

forma para aferição é logo após o 1º segundo do esforço. Nesse momento, a pressão tende a se manter estável (platô de pressão), assumindo normalmente valor inferior ao do pico de pressão.³⁷

O momento da oclusão do sistema para capturar as pressões respiratórias é de extrema importância, devido às particularidades físicas das propriedades viscoelásticas e da biomecânica do sistema respiratório. Como as pressões sofrem alterações em função do volume pulmonar, torna-se necessária a padronização, para permitir a comparação dos testes inter ou intra-indivíduo. Nesse sentido, a tendência é a de mensurar as pressões inspiratória e expiratória máximas próximas ao volume residual e da capacidade pulmonar total, respectivamente. Outra opção para aferição é o ponto de equilíbrio das pressões do sistema respiratório, ou seja, na capacidade residual funcional. No entanto, os valores pressóricos aqui são reduzidos em relação aos volumes pulmonares extremos. Essa diferença é atribuída ao recolhimento elástico do pulmão e da parede torácica e à relação do comprimento-tensão do músculo diafragma.³⁶

Outra fonte de variação é a posição corporal. É de conhecimento que a função pulmonar varia em relação à posição corporal, pela alteração da mecânica respiratória. No indivíduo hígido, por exemplo, o desempenho do diafragma é melhor na posição ortostática ou sentada.¹¹ Na prática dos laboratórios de função pulmonar, a avaliação das pressões respiratórias estáticas máximas é conduzida na posição sentada, aliada ao fato de que as equações de previsão de normalidade, quando elaboradas, os indivíduos foram posicionados sentados.³³

Não existe concordância para o número de testes necessários para mensuração das pressões respiratórias. No entanto, existe uma tendência em se realizar cinco aferições.²⁶ O fenômeno do efeito do aprendizado pode ser aplicado nessa situação, em face da exigência do esforço muscular máximo, da coordenação e da

colaboração do paciente. Outro aspecto relevante é o de que o teste pode desencadear desconforto respiratório. Por isso, deve-se sempre respeitar o limite de cada indivíduo.²⁵

A velocidade da manobra que antecede a avaliação das pressões inspiratória e expiratória também altera o resultado. A manobra de expiração rápida estimula mais atividade muscular, repercutindo com valores maiores para pressão inspiratória estática máxima.³⁸ Esse fenômeno se reproduz também para a pressão expiratória estática máxima.³⁹

1.4. Alterações e complicações respiratórias na lesão medular traumática

Nos indivíduos com lesão medular traumática, o comprometimento dos volumes e das capacidades pulmonares ocorre frequentemente pelo déficit muscular.⁴⁰ Ademais, a falta de harmonia na ativação dos músculos respiratórios, a redução da capacidade vital e da capacidade pulmonar total caracteriza uma síndrome restritiva não-parenquimatosa.^{41;42} Por outro lado, o comprometimento muscular expiratório facilita a retenção de secreção brônquica, contribuindo para o surgimento de atelectasias e pneumonias.^{43;44} Tais complicações aumentam o trabalho respiratório, podendo levar à fadiga muscular, muitas vezes culminando com insuficiência respiratória.^{43;45} Essa seqüência de eventos representa um espectro de alterações clínicas pulmonares, cuja situação extrema indica a necessidade do estabelecimento de via aérea artificial, seja através de cânula naso/orotraqueal ou de traqueostomia, para iniciar a assistência ventilatória mecânica invasiva.⁴⁶ Bellamy *et al.* (1973) observaram que 77% dos indivíduos tetraplégicos com lesão completa, em sua fase aguda, necessitaram de traqueostomia, contra 33% nas lesões incompletas. A demanda por via aérea artificial, em um hospital de reabilitação no Brasil, foi aproximadamente de 30% em todos os pacientes com lesão medular e, especificamente nos tetraplégicos, 50%. Dentre esses

indivíduos com via aérea artificial, 60% experimentaram intubação naso/orotraqueal e 40%, traqueostomia.⁴⁷ Uma tendência dos últimos anos no tratamento da insuficiência respiratória desses pacientes é a ventilação não-invasiva.⁴⁸

Como vimos anteriormente, para o bom desempenho da musculatura inspiratória, é necessário o sinergismo do diafragma com outros músculos da parede torácica, principalmente os intercostais e os abdominais.¹¹ Porém, invariavelmente, nas lesões medulares cervicais e torácicas altas, ocorrem importantes alterações da mecânica muscular respiratória, contribuindo para ineficiência do músculo diafragma.^{49;50} Na inspiração, o diafragma contrai-se e descola-se no sentido caudal. Na presença da paralisia dos músculos abdominais e intercostais, ocorre protrusão do abdome juntamente com as costelas inferiores, enquanto na região torácica superior acontece o inverso, configurando a respiração paradoxal.^{49;51} Os músculos intercostais dos indivíduos portadores de lesão medular cervical encontram-se denervados. Com a evolução e a instalação da espasticidade, o gradil torácico pode tornar-se rígido⁵² e conseqüentemente facilitar a mecânica diafragmática. A redução crônica da excursão inspiratória ocorre principalmente pela fraqueza muscular, aliada à rigidez dos ligamentos, tendões e anquilose das articulações da caixa torácica.^{49;51}

Alguns músculos do pescoço e da cintura escapular são acessórios na respiração. Dependendo do nível e da extensão da lesão medular, os músculos escalenos, esternocleidomastóideo, trapézio e peitoral maior podem contribuir para a ventilação pulmonar.⁵³ Na tetraplegia, ocorre atividade eletroneuromiográfica dos escalenos com movimento do tórax superior.⁵⁴ Os músculos esternocleidomastóideo e trapézio, originados na clavícula e no esterno e com inserção no processo mastóideo, quando contraídos elevam a região superior do gradil torácico, no momento em que o ponto fixo é o mastóideo. No tetraplégico, esses músculos encontram-se preservados por serem

inervados pelo plexo cervical, através de nervo acessório (X par craniano). No que diz respeito aos músculos expiratórios acessórios, a porção clavicular do músculo peitoral maior participa efetivamente no auxílio da tosse.^{20;55;56}

A elevada frequência de alterações pulmonares nos indivíduos portadores de lesão medular traumática, principalmente tetraplégicos,⁵⁷ contribui para expressivas taxas de morbidade e mortalidade.^{58;59} As complicações respiratórias são responsáveis por 25% dos óbitos nos indivíduos com lesão medular traumática⁶⁰ e 86% naqueles com queixas respiratórias.⁶¹ Dentre as alterações da função pulmonar, descritas pela literatura, a restrição pulmonar não-parenquimatosa é a mais importante,^{62;63} justificada pela fraqueza ou paralisia dos músculos respiratórios.^{64;65}

A instalação das complicações respiratórias após a lesão medular traumática ocorre frequentemente nos primeiros três meses, período em que, possivelmente, o sistema respiratório sofre variadas influências e processos adaptativos, relacionados ao nível, ao tempo e ao grau da lesão.^{43;44} No que diz respeito à mortalidade, após um ano de lesão, o evento respiratório é a principal causa de óbito em 76% dos pacientes.⁶⁰

Spungen *et al*⁶¹ em 1997, num estudo envolvendo 180 indivíduos com lesão medular traumática, mostraram que 68% exibiam pelo menos um sintoma respiratório. Dentre os tetraplégicos com nível de lesão acima de C5, 73% referiram dispnéia, contra 58% para aqueles com lesão entre C6-C8. A prevalência de queixas respiratórias nos pacientes com lesão medular traumática internados em um hospital de reabilitação no Brasil foi 18%, sendo de 38% nos tetraplégicos.⁴⁷

De uma maneira geral, em qualquer fase e nível da tetraplegia e da paraplegia alta, a mecânica respiratória encontra-se invariavelmente afetada. Quanto mais agudo e mais elevado o nível de lesão, maiores são as repercussões

respiratórias.^{43;62} Assim, indivíduos com lesão acima de C3, são candidatos à dependência permanente de assistência ventilatória mecânica e/ou implante de marca-passo diafragmático.⁶⁶ No último caso, não são adicionados os riscos inerentes à ventilação mecânica, como pneumonia associada ao ventilador.⁶⁷ Já pacientes com lesão mais baixa, C5-C8, por exemplo, apresentam menos complicações e conseqüentemente melhor prognóstico.⁶⁸

Outra alteração diz respeito à denervação do componente simpático, deixando o controle do tônus brônquico exclusivamente pelo sistema nervoso parassimpático. Acredita-se que decorre de uma condição de permanente hipertonicidade e alteração funcional do aparelho mucociliar, de difícil avaliação clínica, e com potencial participação nesse espectro de manifestações pulmonares. Doze estudos foram publicados a esse respeito, até o momento, envolvendo pacientes com lesão medular traumática alta e as possíveis influências dessa insuficiência autonômica sobre a regulação do tônus brônquico. Os achados desses estudos sugerem a presença de uma hipertonicidade reversível com anticolinérgico^{69;70} e beta-agonista.^{71;72} A maioria desses estudos envolveu, em sua avaliação pulmonar, a espirometria forçada, exceto em três investigações que utilizaram câmara pletismográfica.^{70;72;73}

1.4.1. Função pulmonar na lesão medular traumática

1.4.1.1. Espirometria

A investigação da função pulmonar nos indivíduos portadores de lesão medular traumática, freqüentemente, é conduzida por espirometria, tanto para avaliação do distúrbio ventilatório restritivo como para o obstrutivo. O emprego da espirometria nesses pacientes necessita de adaptação com base nos critérios da *American Thoracic Society*.²³ A disfunção muscular presente nos indivíduos com lesão medular dificulta a

realização da manobra expiratória acima de seis segundos e favorece o aumento do volume retroextrapolado. Apesar dessa limitação, os testes espirométricos podem ser adaptados e aceitos nos pacientes portadores de lesão medular.^{74;75}

A avaliação dos volumes pulmonares em tetraplégicos, particularmente a capacidade vital, a capacidade inspiratória e o volume de reserva expiratória encontram-se reduzidos em termos médios, respectivamente, da ordem de 52%, 71% e 21% dos previstos, com base nas equações para indivíduos hígidos. Por outro lado, tipicamente o volume residual encontra-se acima dos limites esperados, entre 120% a 200% dos valores de referência, demonstrando o importante comprometimento muscular expiratório. Apesar do aumento do volume residual, a capacidade pulmonar total encontra-se reduzida na ordem de 70% do previsto.⁷⁶, confirmando o distúrbio ventilatório restritivo não-parenquimatoso. Para facilitar o entendimento, na Figura 1 observa-se a representação gráfica dos volumes e capacidades pulmonares no indivíduo hígido.

Existem três estudos que correlacionaram os valores espirométricos com nível motor da lesão medular.^{62;63;77} Os resultados dessas investigações nos possibilita reconhecer se as alterações espirométricas constatadas são compatíveis com o nível motor da lesão. Assim, o possível distúrbio ventilatório dos indivíduos com lesão medular traumática, detectado à luz da espirometria pode ser melhor interpretado.

Para realizar o diagnóstico de distúrbio ventilatório obstrutivo, torna-se indispensável conduzir três manobras expiratórias forçadas com qualidade, para avaliação dos fluxos expiratórios.⁷⁸ Nos indivíduos com lesão medular traumática, especificamente nos tetraplégicos, essa condição encontra-se prejudicada pela fraqueza dos músculos expiratórios. Assim, além do exame espirométrico, devemos utilizar outros testes como técnicas de oscilações forçadas e a câmara pletismográfica, para melhor investigação do

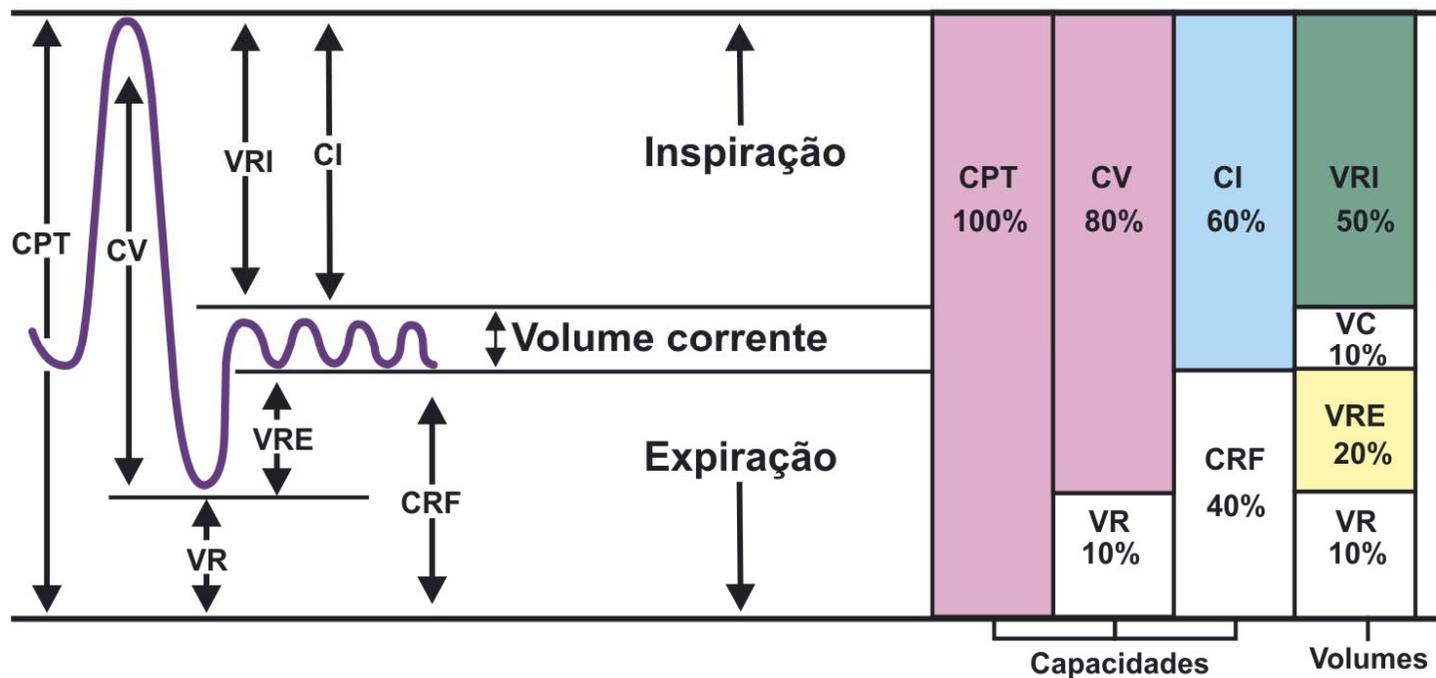


Figura 1 - Definição e distribuição dos volumes e capacidades pulmonares.

CPT – capacidade pulmonar total; CV – capacidade vital; VR – volume residual; VRI – volume de reserva inspiratório; VRE – volume de reserva expiratório; CI – capacidade inspiratória; CRF – capacidade residual funcional e VC - Volume corrente.

componente obstrutivo. Para a constatação da restrição pulmonar faz-se necessária a mensuração da capacidade pulmonar total, considerada como padrão-ouro.⁷⁹

1.4.1.2. Pressões respiratórias estáticas máximas

A lesão medular traumática, na dependência do nível lesionado, compromete em grau variável os músculos respiratórios. Ao longo da medula espinhal, encontramos as raízes responsáveis pela inervação dos músculos respiratórios. Na simples inspeção da Figura 2 podemos observar que os principais músculos inspiratórios estão em posição superior, na região cervical, enquanto os expiratórios localizam-se na parte inferior, na coluna toracolombar.⁸⁰ Assim, os músculos expiratórios, invariavelmente, são mais afetados em relação aos inspiratórios, independentemente do nível da lesão.

O envolvimento respiratório pode também ser evidenciado pela considerável diminuição da força muscular, medida pelas pressões inspiratória (PIMáx) e expiratória (PEMáx) estáticas máximas.^{57;81} A redução dessas pressões ocorre pela fraqueza ou paralisia muscular respiratória, bem como pela alteração da mecânica ventilatória. Neste sentido, podemos assegurar a importância da mensuração das pressões respiratórias estáticas máximas na propedêutica dos pacientes portadores de lesão medular traumática. Porém, essa aferição não exclui a avaliação com outros métodos de investigação da função pulmonar.

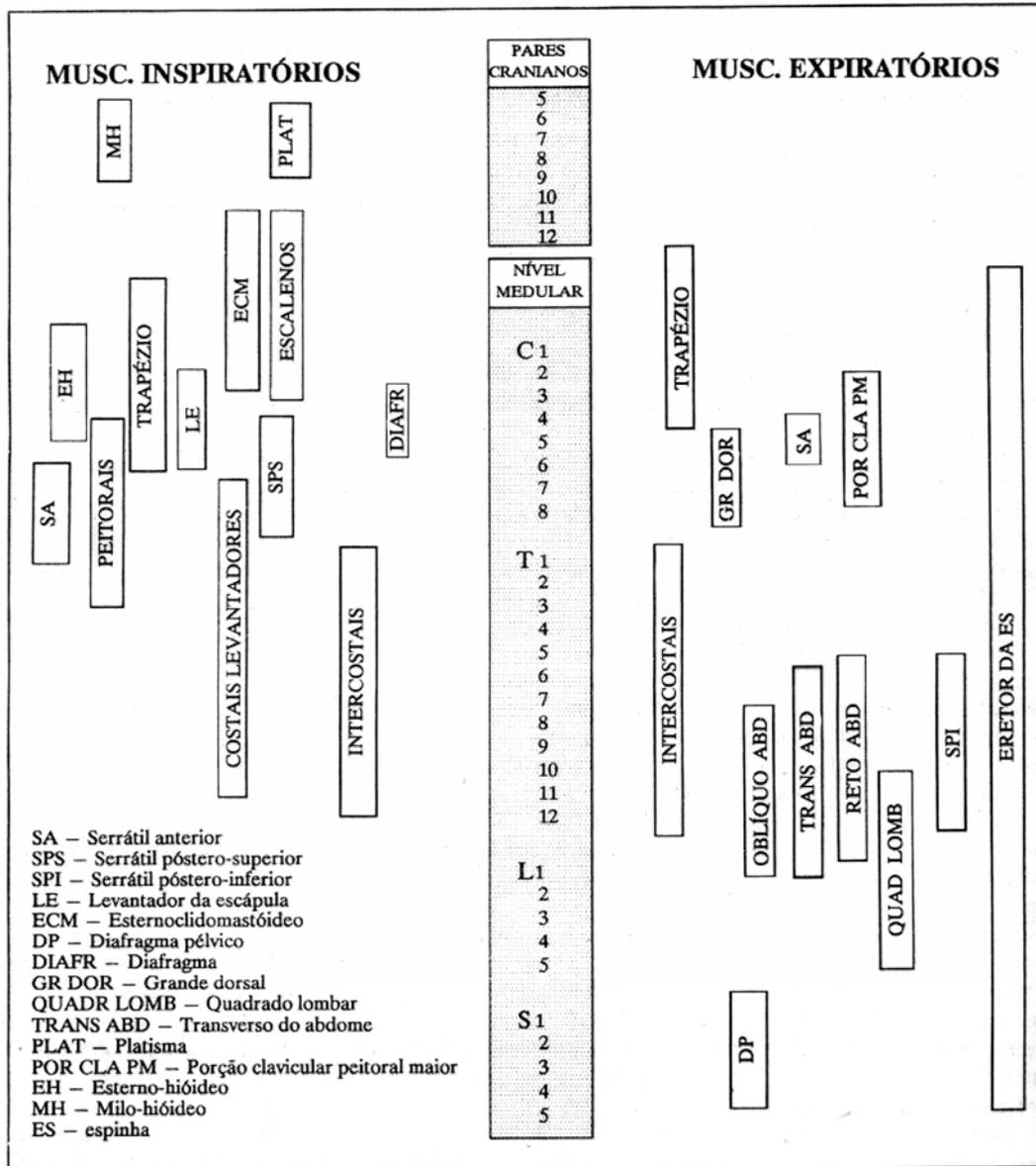


Figura 2 - Segmentação das raízes nervosas dos músculos respiratórios

A partir de uma pesquisa bibliográfica nas bases de dados MEDLINE, EMBASE, CINAHL, PEDRO e LILACS (pesquisadas em outubro de 2006), localizamos apenas 35 estudos, nos quais foi relatada a utilização das medidas das pressões respiratórias máximas em pacientes com lesão medular traumática (Tabela 3). Desse total, apenas oito autores informaram o tipo de bocal utilizado (rígido ou com borda), além do fato de que 11 descreveram a presença de orifício de escape (que variou entre 0,5 e 1,8 mm) e o tempo do esforço respiratório para registro da pressão. Somente em oito estudos, foi utilizado equação de previsão (5 Black e Hyatt, 2 Wilson e 1 Rochester) e os demais consideraram somente os valores absolutos. Os objetivos dos estudos estavam relacionados à caracterização da força muscular e da avaliação de recursos terapêuticos como, por exemplo, treinamento muscular respiratório. Apesar da importância e da contribuição de cada investigação, nenhuma correlacionou as pressões respiratórias estáticas máximas com as variáveis clínicas como, por exemplo, nível, extensão e tempo de lesão.

Entendemos que a avaliação funcional dos músculos respiratórios é importante para melhor julgarmos o possível grau de disfunção muscular respiratória presente nos indivíduos portadores de lesão medular traumática. Portanto, além do reconhecimento das variáveis independentes das pressões respiratórias estáticas máximas, torna-se necessário estabelecer equações de previsão específicas para os indivíduos com lesão medular traumática para melhor categorização da função pulmonar.

Tabela 3 – Sumário dos principais artigos que constam a utilização da mensuração das pressões respiratórias máximas em pacientes com lesão medular traumática.

Autor, ano	N	Idade (Anos)	Tempo de lesão	Bocal	Escape (mm)	Ponto da oclusão	Tempo de oclusão (s)	Nº de testes	Equação	Objetivo do estudo
McMichan, 1980 ⁴³	22 tetra	24 ± 3	Agudo	NI	NI	NI	NI	NI	Black e Hyatt	Melhorar os cuidados respiratórios na fase aguda e acompanhar as mudanças na fase de recuperação.
Goldman, 1986 ⁸²	7 tetra	33	4 ± 8	NI	2	CRF	1-2	3	Valor absoluto	Comparar o efeito de 2 modelos de cintas abdominais sobre a respiração.
Laven, 1989 ⁸³	20 tetra 31 para	29 ± 10	6 ± 8 dias	NI	NI	NI	NI	NI	NI	Examinar a associação entre o estado nutricional e a ocorrência das complicações clínicas secundárias.
Flavell, 1992 ⁸⁴	10 tetra	31 ± 15	80 ± 114	NI	NI	CPT e VR	NI	NI	Wilson	Determinar a frequência e a extensão da desaturação de O ₂ nos tetraplégicos durante o sono e observar a função pulmonar.
Derrickson, 1992 ⁸⁵	11 tetra	29	NI	NI	2	CRF	NI	NI	NI	Comparar o efeito do treinamento muscular respiratório (treinamento muscular inspiratório x peso no abdome) em lesado medular.
Linder, 1993 ⁸⁶	8 tetra	38 ± 11	12 ± 9 anos	NI	NI	CPT	NI	NI	Black e Hyatt	Determinar se a estimulação elétrica funcional na parede abdominal produz aumento da pressão intratorácica.
Roth, 1995 ⁸⁷	52 tetra e para	30 ± 12	< 6meses	NI	NI	NI	NI	NI	Valor absoluto	Correlacionar a CV com outros testes de função pulmonar em pacientes com lesão medular.
Tully, 1997 ⁶⁴	21 tetra 29 para	NI	NI	Rígido e com borda	Agulha 19 1,1	CPT	1	3	Valor absoluto	Avaliar a diferença dos bocais.
Gounden, 1997 ⁸¹	30 tetra	NI	NI	NI	0,5	CPT e VR	NI	3	Valor absoluto	Examinar a força músculos respiratórios.
Hopman, 1997 ⁸⁸	15 tetra 15 controles	29 ± 9 25 ± 3	1-11 anos	Com borda	1,8	CPT e VR	1	3	Black and Hyatt	Correlacionar a força dos músculos respiratórios com a endurance.
Roth, 1997 ⁴⁰	52 tetra e para	30 ± 12	77 ± 39 dias	NI	NI	NI	NI	NI	Valor absoluto	Determinação da função pulmonar na lesão medular aguda e relacionar com a força e tônus muscular dos membros.

NI – Não informado; Tetra – tetraplégico; Para – paraplégico; CV – capacidade vital; CRF – capacidade residual funcional; CPT – capacidade pulmonar total; VR – volume residual.

Tabela 3 – Continuação dos principais artigos que constam a utilização da mensuração das pressões respiratórias máximas em pacientes com lesão medular traumática.

Autor, ano	N	Idade (Anos)	Tempo de lesão	Bocal	Escape (mm)	Ponto da oclusão	Tempo de oclusão (s)	Nº de testes	Equação	Objetivo do estudo
Segal, 1997 ⁸⁹	11 tetra 6 para	NI	>1 ano	NI	NI	NI	NI	NI	NI	A aminopiridina melhora a função pulmonar nos lesados medulares crônicos.
Lin, 1998 ⁹⁰	9 tetra 7 controles	35 ± 3	10 ± 2	NI	1,8	CPT e VR	NI	NI	Valor absoluto	Comparar a resposta ventilatória na hipercapnia e na P0,1, entre tetraplégico e indivíduos controles.
Lin, 1998 ⁹¹	13 tetra	47 ± 9	15 ± 9	NI	NI	NI	NI	NI	Valor absoluto	Avaliar o benefício da estimulação magnética funcional como método não-invasivo para auxílio da tosse nos tetraplégicos.
Rutchik, 1998 ⁹²	10 tetra	36 ± 4	9 ± 17 anos	NI	NI	CPT e VR	NI	3	Não utilizou	Avaliar o efeito regular diário do treinamento muscular respiratório em tetraplégicos crônicos.
Klefbeck, 1998 ⁹³	33 tetra	38 ± 12	14 ± 12	NI	NI	NI	NI	NI	Valor absoluto	Prevalência de AOS em tetraplégicos e relacionar com função neurológica, capacidade respiratória, IMC e posição de dormir.
Fujiwara, 1999 ⁹⁴	11 tetra	40	7 meses	NI	NI	CPT e VR	NI	NI	Não utilizou	Analisar função expiratória, força dos músculos expiratórios e atividade dos acessórios.
Uijl, 1999 ⁶⁵	9 tetra	34	11 anos	Com borda	1,8	VR	1	3	Não utilizou	Determinar alvo do treinamento dos músculos inspiratórios com controle para intensidade do treinamento.
Spungen, 1999 ⁹⁵	10 tetra	41 ± 9	16 ± 8 anos	NI	NI	CPT, VR e CRF	NI	3	Não utilizou	Associação do anabolizante com melhora da função dos mm respiratório.

NI – Não informado; Tetra – tetraplégico; Para – paraplégico; CRF – capacidade residual funcional; CPT – capacidade pulmonar total; VR – volume residual; P0,1 – pressão de oclusão no 1º ms; AOS – apnéia obstrutiva do sono e IMC – índice de massa corpórea.

Tabela 3 – Continuação dos principais artigos que constam a utilização da mensuração das pressões respiratórias máximas em pacientes com lesão medular traumática.

Autor, ano	N	Idade (Anos)	Tempo de lesão	Bocal	Escape (mm)	Ponto da oclusão	Tempo de oclusão (s)	Nº de testes	Equação	Objetivo do estudo
Wien, 1999 ⁹⁶	125	Não atletas 39 ± 13 Atletas 54 ± 15	Não atletas 15 ± 12 Atletas 21 ± 14	Rígido	Não	Não	Não	Não	Valor absoluto	Avaliar a resposta do treinamento com exercícios na redução da prevalência do desconforto respiratório em pacientes com lesão medular.
Segal, 1999 ⁹⁷	14 tetra 7 para	NI	>2 anos	NI	NI	NI	NI	3	Valor absoluto	Determinar o efeito a longo prazo da aminopiridina sobre a função sensorio motora em lesados medulares.
Gorini, 2000 ⁹⁸	7 para 6 controles	29 ± 1	16 ± 25	Não	Sim	CPT e VR	NI	3	Valor absoluto	Avaliar a resposta muscular da hipercapnia nos paraplégicos.
Liaw, 2000 ⁹⁹	20 tetra	GI 31 ± 12 GC 37 ± 12	Intervenção 63 ± 31 dias e Controle 66 ± 38 dias	NI	NI	CPT e VR	1	2	Valor absoluto	Avaliação do treinamento muscular respiratório.
van der Schans, 2000 ¹⁰⁰	6 tetra	40 ± 10	6 ± 8 anos	NI	NI	CPT e VR	1 e pico	NI	Valor absoluto	Investigar a efetividade da tosse no clearance nos tetraplégicos crônicos.
Andrada, 2001 ¹⁰¹	29 tetra e para	25 ± 9 tetra 22 ± 6 para	1 - 48 meses	Com borda	1,8	CPT e VR	1	3	Rochester	Quantificar o grau de restrição na postura sentada e recostada, correlacionar com o nível e tempo da lesão. Quantificar a debilidade dos músculos respiratórios e correlacionar com a restrição, nível e tempo de lesão.
Wang, 2002 ¹⁰²	14 tetra	41 ± 14	4 ± 5 e anos	NI	NI	CPT e CRF	NI	5 a 7	Não utilizou	Efeito do treinamento muscular respiratório no tetraplégico.
Cruzada, 2002 ¹⁰³	15 tetra	35	>5 meses	NI	NI	NI	NI	3	Valor absoluto	Determinar se treinamento músculo respiratório diário é efetivo para melhora da função pulmonar e reduz a dispnéia e adesão ao tratamento.

NI – Não informado; Tetra – tetraplégico; Para – parapléxico CRF – capacidade residual funcional; CPT – capacidade pulmonar total; VR – volume residual; GI – grupo intervenção e GC - grupo controle.

Tabela 3 – Continuação dos principais artigos que constam a utilização da mensuração das pressões respiratórias máximas em pacientes com lesão medular traumática.

Autor, ano	N	Idade (Anos)	Tempo de lesão	Bocal	Escape (mm)	Ponto da oclusão	Tempo de oclusão (s)	Nº de testes	Equação	Objetivo do estudo
Boaventura, 2003 ¹⁰⁴	10 tetra	16 a 49	72 ± 92 meses	Plástico	1	CPT e VR	2	3	Black and Hyatt	Avaliar o efeito da cinta abdominal sob o músculo respiratório e CVF – sentado x supina.
Kelley, 2003 ⁷⁵	117 tetra 161 para	50 ± 15	18 ± 13 anos	<i>Trumpet style</i>	NI	NI	NI	3	Valor absoluto	Reprodutibilidade e aceitabilidade da espirometria.
Boaventura, 2004 ¹⁰⁵	10 tetra	32 ± 11	72 ± 92 meses	Plástico	1	CPT e VR	2	3	Black and Hyatt	Quantificar a perda de força da musculatura respiratória e da CVF nas posições supina e sentada em tetraplégicos.
Kang, 2005 ¹⁰⁶	40 tetra	35 ± 4,7	6,1 ± 4,7 meses	NI	NI	CPT e VR	1	3	Wilson	Estudar a relação entre a capacidade voluntária da tosse, técnica de tosse assistida e força muscular inspiratório e expiratória.
Grandas, 2005 ¹⁰⁷	479	50	> 1ano	NI	NI	NI	NI	3	NI	Avaliar os fatores associados a dispnéia em lesados medulares nas atividades de vida diária.
Hart, 2005 ¹⁰⁸	10 tetra	38 ± 12	10 ± 7	NI	NI	CPT	NI	NI	Valor absoluto	Determinar se o colete toracoabdominal melhora a função pulmonar, aumenta a atividade muscular inspiratória e se reduz a sensação de esforço em pacientes com lesão medular.
Cheng, 2006 ¹⁰⁹	26 tetra	GI 35 ± 12 GC 39 ± 15	<3 meses de lesão	NI	NI	CPT e VR	NI	3	Valor absoluto	Avaliar a efetividade da estimulação elétrica neuromuscular na capacidade da tosse e na prevenção das complicações pulmonares em pacientes com lesão medular.
Jain, 2006 ¹¹⁰	307 traumática e 32 não-traumática	50 ± 15	17 ± 13	NI	NI	NI	NI	3	NI	Avaliar os fatores que influenciam a função pulmonar nos pacientes com lesão medular crônica.

NI – Não informado; Tetra – tetraplégico; Para – paraplégico; CVF – capacidade vital forçada; CRF – capacidade residual funcional; CPT – capacidade pulmonar total; VR – volume residual; GI – grupo intervenção e GC - grupo controle.

2. Objetivos

Gerais:

- Descrever as alterações espirométricas nos pacientes com lesão medular traumática.
- Mensurar as pressões inspiratória e expiratória estáticas máximas, em condições bem descritas e controladas nos pacientes com lesão medular traumática.

Específicos:

- Com base em uma equação tradicional e bastante difundida, desenvolvida em uma população hígida, correlacionar os valores médios dos percentuais dos previstos das pressões respiratórias estáticas máximas com o nível motor da lesão medular traumática.
- A partir de uma análise de regressão linear múltipla, definir as variáveis independentes e estabelecer equações dos valores previstos das pressões inspiratória e expiratória estáticas máximas para os indivíduos com lesão medular traumática.

3. Casuística, Material e Métodos

3.1. Casuística

No período compreendido entre agosto de 2003 a fevereiro de 2005, foram selecionados 131 pacientes do Programa de Lesão Medular do Hospital de Reabilitação SARAH/Brasília, que se encontravam internados ou sob acompanhamento ambulatorial.

Os critérios de inclusão deste estudo foram: indivíduos portadores de lesão medular traumática com tempo de evolução e gravidade variáveis, estáveis clinicamente (com base no exame físico, laboratorial e de imagem).

Os Critérios de exclusão desta investigação foram: pacientes com história prévia de doença neurológica, com pneumopatia em atividade, dependentes de assistência ventilatória mecânica, presença de traqueostomia; e ainda processo infeccioso com alteração clínica e/ou laboratorial, instabilidade da coluna vertebral, utilização de colete, contra-indicação ao posicionamento sentado e alteração cognitiva que prejudicasse a colaboração e/ou a compreensão na condução dos testes de função pulmonar.

O nível da lesão medular traumática foi determinado pelo exame neurológico, de acordo com os critérios da *American Spinal Injury Association (ASIA)*.⁷ Os pacientes apresentaram nível motor variando entre C4 e L3, agrupados em tetraplégicos (52, 39,7%, divididos em subgrupos de C4-C5 e C6-C8) e paraplégicos (79, 60,3%, divididos em subgrupos de T1-T6 e T7-L3).

A prevalência de tabagismo (incluindo os ex-fumantes) foi de 30,5% (IC95% 23,0 - 39,3), sem diferença entre os grupos e subgrupos. As demais variáveis categóricas (sexo e extensão da lesão) e contínuas (idade, peso, estatura e tempo de

lesão) também não exibiram diferenças entre os grupos e subgrupos estudados (Tabela 4).

Após avaliação e aprovação do Comitê de Ética e Pesquisa, a coleta de dados teve início com todos participantes sendo esclarecidos sobre a natureza e o objetivo da investigação e expressaram, formalmente, o consentimento voluntário em participar do estudo (Anexo A).¹¹¹

3.2. Procedimentos

Todos os exames de espirometria e medida das pressões respiratórias estáticas máximas foram conduzidos, nesta ordem, em sessão única vespertina e por um único examinador (SRMM), no Laboratório de Função Pulmonar da Instituição. O teste foi realizado com o paciente sentado na sua própria cadeira de rodas, sem uso de cinta abdominal, de colete ou colar cervical e com clipe nasal.

3.2.1. Espirometria

O equipamento utilizado para realização da espirometria possui um pneumotacógrafo aquecido (*Master Screen, Erich Jaeger GmbH, Hoechberg, Germany*). O volume foi obtido através da integração do sinal de fluxo.

A calibração do pneumotacógrafo foi realizada no começo de cada sessão de testes e consistiu, inicialmente, no estabelecimento e reconhecimento pelo sistema, do ponto de fluxo zero. Para essa etapa, especial atenção foi dispensada ao transdutor, no sentido de mantê-lo em repouso e protegido de fluxos aéreos espúrios. Logo em seguida, procedeu-se à conexão de uma seringa de três litros ao pneumotacógrafo, pela qual eram injetados e aspirados os volumes, em fluxos variáveis. O software do equipamento realizava os ajustes de correção para o volume empregado, informando ao operador o momento em que a calibração era alcançada.

Tabela 4 – Distribuição absoluta e percentual, n (%), das principais características dos pacientes.

	Tetraplégicos		Paraplégicos		Combinado
	C4-C5	C6-C8	T1-T6	T7-L3	
	30 (22,9)	22 (16,8)	32 (24,4)	47 (35,9)	131(100)
Gênero					
Feminino	9 (22,0)	4 (9,8)	12 (29,2)	16 (39,0)	41 (100)
Masculino	21 (23,4)	18 (20,0)	20 (22,2)	31 (34,4)	90 (100)
ASIA*					
A	18 (23,4)	11 (14,3)	22 (28,6)	26 (33,7)	77 (100)
B	3 (13,7)	5 (22,7)	5 (22,7)	9 (40,9)	22 (100)
C	6 (33,3)	4 (22,2)	1 (5,6)	7 (38,9)	18 (100)
D	3 (21,4)	2 (14,3)	4 (28,6)	5 (35,7)	14 (100)
Tabagismo					
Nunca	25 (27,5)	11 (12,1)	22 (24,2)	33 (36,3)	91 (100)
Ex †	1 (5,9)	6 (35,3)	5 (29,4)	5 (29,4)	17 (100)
Atual	4 (17,4)	5 (21,7)	5 (21,7)	9(39,1)	23 (100)
Antropometria					
Peso, Kg	59,9 ± 10,1	67,0 ± 11,8	64,2 ± 12,9	64,0 ± 12,0	63,6±12,1
Estatura, cm	170,0 ± 10,0	173,8 ± 7,6	169,9 ± 10,1	171,3 ± 11,3	171,1±10,2
IMC ‡, Kg/m ²	20,5 ± 3,5	22,1 ± 3,2	22,1 ± 3,6	21,8 ± 3,6	21,7 ± 3,5
Idade, anos	34,33 ± 14,2	28,73 ± 9,6	27,48 ± 9,1	31,64 ± 11,6	30,75 ± 11,6
Tempo de lesão, meses	24,0 ± 25,1	29,3 ± 55,6	23,3 ± 25,9	24,7 ± 39,4	25,0 ± 36,8
Variação §	1,9 – 97,8	1,9 – 271,3	3,9 – 113,7	1,1 – 175,6	1,1 – 271,3

*ASIA - *American Spinal Injury Association*; †Ex – Mínimo de um ano sem uso de tabaco; ‡IMC Índice massa corpórea e §faixa de variação em meses do tempo da lesão.

Foi solicitado diretamente aos pacientes ou por intermédio dos acompanhantes e da equipe de enfermagem, a suspensão da ingestão de café e/ou chá no mínimo seis horas antes dos exames.²¹

Todos os participantes foram orientados a realizar uma expiração, seguida de uma inspiração, lentas e profundas, após terem sido encorajados, verbalmente, a executarem uma expiração máxima e forçada, sem hesitação, com duração mínima de seis segundos. Porém, em face de disfunção muscular presente, principalmente nos tetraplégicos, foi necessária adaptação em relação ao tempo expiratório e ao volume retroextrapolado.^{74;75} Independentemente, foram conduzidas pelo menos três manobras, sendo aceitas quando as curvas e os seus respectivos valores eram reprodutíveis, com diferenças inferiores a 5% ou 150 ml entre elas, de acordo com os critérios da *American Thoracic Society*.²³ Para efeito de cálculo, foram considerados somente os maiores valores inspiratórios e expiratórios, não necessariamente na mesma manobra. Para obtenção dos valores previstos, utilizamos a equação de Crapo *et al.*¹¹² A interpretação da espirometria, bem como a caracterização do distúrbio ventilatório, foi baseada também nos critérios da *American Thoracic Society*.¹¹³

As manobras da espirometria forçada foram apreciadas simultaneamente no monitor do microcomputador, mediante a observação das alças inspiratória e expiratória da curva fluxo-volume.

3.2.2. Pressões respiratórias estáticas máximas

Imediatamente após a etapa anterior, os participantes foram orientados quanto à sistemática dos procedimentos para avaliação das pressões respiratórias estáticas máximas (*DataSpir 120D, Sibelman, Barcelona, Spain*). Para minimizar o efeito do aprendizado, foram realizadas quatro medidas para cada conjunto das pressões de interesse, inspiratória (PIMáx) e expiratória (PEMáx), cuja seqüência foi

determinada randomicamente. O tempo de oclusão do sistema e o esforço do paciente foi no mínimo de dois segundos. Já o intervalo entre as medidas foi de pelo menos um minuto, sempre respeitando as limitações do paciente. Para garantir o controle de qualidade empregamos os critérios de Ringqvist, exceto a variação de 5% entre os três maiores valores de pressão.³³

Independentemente do parâmetro a ser aferido, todos os exames nessa etapa foram conduzidos utilizando um bocal descartável do tipo rígido, firmemente conectado a um tubo não flexível (17 cm de comprimento) em uma das extremidades (Figura 3, A e B, respectivamente). Do outro lado desse tubo, três dispositivos estavam presentes:

- Um tubo metálico de dois mm de diâmetro e 40 mm de comprimento, que atravessa a extremidade da parede do sistema, para permitir o escape aéreo durante os esforços, evitando interferência promovida pelo fechamento da glote (Figura 3, C);
- Tubo flexível para conexão com o transdutor de pressão (Figura 3, D) e
- Válvula deslizante para oclusão do sistema (obturador/shutter). (Figura 3, E).

Cabe esclarecer que, nessa etapa, a participação do operador na boa condução do exame é fundamental. Em primeiro lugar, por ser ele o responsável a deslizar a válvula de oclusão durante a apnéia comandada, momentos antes do esforço inspiratório ou expiratório (Figura 3, F). Em segundo, por garantir a vedação entre o bocal e a região perilabial do paciente (Figura 3, G).

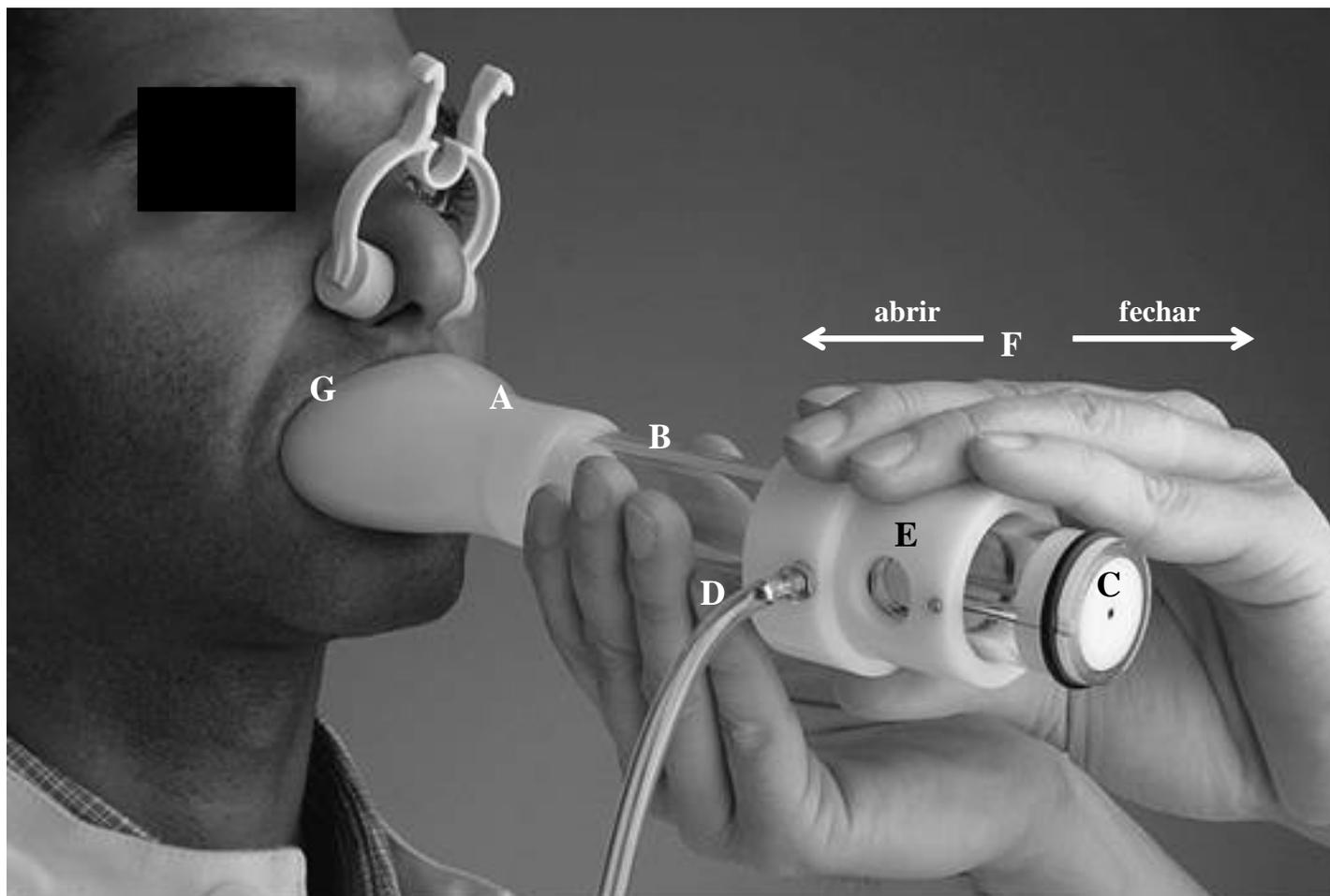


Figura 3 – Detalhamento da metodologia para aferição das pressões respiratórias estáticas máximas. A preparação consiste num bocal rígido (A), conectado a um tubo transparente (17 cm de comprimento) também rígido (B). Na extremidade oposta há um orifício de 2 mm de diâmetro e 40 mm de comprimento (C) para o escape aéreo. Conectado a esse sistema há um tubo flexível para aferição da pressão (D) e um orifício de 15 mm que pode ser ocluído por uma válvula deslizante (E), comandada pelo operador (F). O operador também fica responsável por garantir uma perfeita vedação entre o bocal rígido e a região perilabial (G).

O registro da pressão foi realizado com oclusão do sistema na capacidade pulmonar total, para pressão expiratória estática máxima (PEM_{áx}) e no volume residual, para pressão inspiratória estática máxima (PIM_{áx}). Para análise, considerou-se a maior pressão alcançada após um segundo do início do esforço, definido pelo *Software* do aparelho (Figura 4). Como equações de previsão, adotamos as de Black e Hyatt,³¹ (Anexo B), considerando que a metodologia aqui descrita, com exceção do equipamento, foi a mesma utilizada pelos autores, acrescida do fato de se tratar de referência tradicional, mundialmente utilizada.

O aparelho de verificação das pressões respiratórias foi calibrado seguindo as orientações do fabricante, quinzenalmente, com uma coluna de água. Aplicavam-se pressões de valores crescentes tanto para PIM_{áx}, quanto para PEM_{áx}, separadamente. A seguir, conectava-se ao equipamento, em paralelo, uma coluna de água e um gerador de pressão, utilizando aqui uma seringa de 50 ml. No mínimo, dez medidas foram conduzidas com os valores dentro da faixa de variação aceita pelo aparelho. Pressão baixa (< 50 cmH₂O), média (de 51 a 120 cmH₂O) e alta (acima de 121 cmH₂O). Finalizada essa etapa, calculava-se o erro médio para PIM_{áx} e para PEM_{áx}. No caso, se o erro médio encontrado fosse superior a 3% repetia-se a calibração.

3.3. Descrição das variáveis

Na regressão linear múltipla, consideramos treze variáveis para construção do modelo. Dentre essas, oito estão ligadas diretamente ao indivíduo, que são: gênero, etnia, idade, peso, sendo avaliado tanto o observado como o ideal¹¹⁴, envergadura, índice de massa corpórea e história de tabagismo. O hábito de fumar foi classificado como tabagista atual, ex-tabagista, quando em abstenção de pelo menos 1

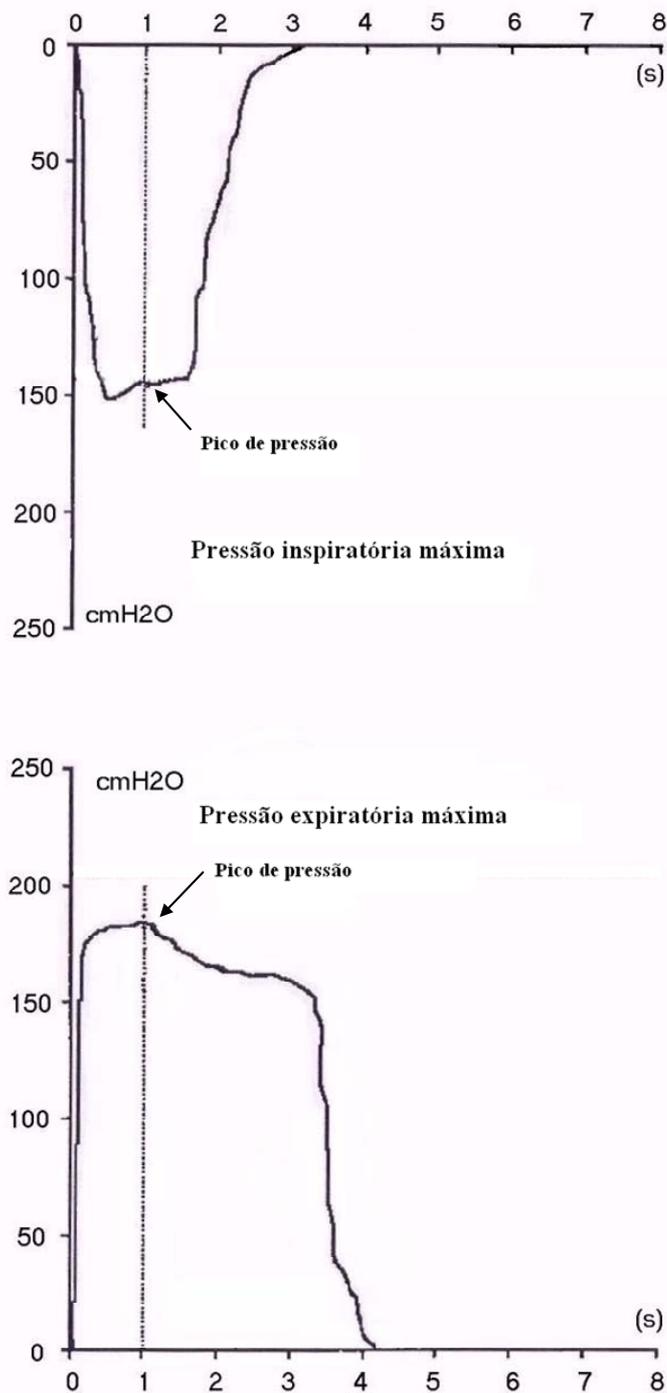


Figure 4 – Registro gráfico das pressões inspiratória e expiratória máximas, de um indivíduo hígido. O pico de pressão (seta) é registrado no início, após o 1º segundo do esforço.

ano e os que nunca fumaram. Para efeito de análise, a variável “tabagismo” foi ordenada em 0 (nunca fumou), 1 (ex-tabagista) e 2 (tabagista atual). Também foi apreciada e classificada como dicotômica, ausente (zero) ou presente (um), ex-tabagista ou atual.

As variáveis relacionadas com as condições clínicas de base dos participantes foram: nível, tempo, extensão da lesão, espasticidade e presença de complicação pulmonar após a lesão medular como, por exemplo, pneumonia, atelectasia, pneumotórax, derrame pleural, embolia pulmonar, contusão pulmonar e insuficiência respiratória aguda.

O tratamento da variável “nível motor” da lesão medular foi conduzido de mais de uma forma: primeiramente, atribuiu-se o valor unitário crescente no sentido craniocaudal, de acordo com o nível da lesão, de C4 a L3, porém; com a seguinte diferença: nos casos de níveis discrepantes entre os dimídios, foi atribuído o valor médio. Por exemplo, C4 à esquerda e C5 à direita = 4,5. O segundo modo foi categorizado em subgrupos e ordenado de 0 a 3 (C4-C5=0; C6-C8=1; T1-T6=2 e T7-L3=3). A terceira forma foi a dicotomização simples entre tetraplégico e paraplégico.

A extensão da lesão foi avaliada pela escala da *American Spinal Injury Association* (ASIA)⁷ e foi estudada inicialmente conforme a descrição original ordenada de 0 a 3(0=A; 1=B; 2=C; e 3=D). No segundo momento, dividimos em dois grupos com lesão motora completa (ASIA A e B=0) e incompleta (ASIA C e D=1).

A espasticidade foi classificada com base na escala de Ashworth.^{115;116} Trata-se de uma escala ordinal, crescente em relação à gravidade da espasticidade (Tabela 5).

Quanto à presença das complicações pulmonares após a instalação da lesão medular, essa variável foi avaliada como dicotômica, zero (0) e um (1), ausente ou presente, respectivamente.

Finalizando, analisamos as variáveis consideradas críticas, como categóricas e também como variáveis dicotômicas múltiplas, *dummy*. Isso aconteceu com grupo do nível da lesão, extensão da lesão, espasticidade e tabagismo. O tratamento das variáveis categóricas em *dummy* foi importante para avaliar a sua linearidade em relação às variáveis dependentes. A partir do resultado da linearidade, tomou-se a decisão sobre a melhor forma de testar a variável independente categórica no modelo de regressão linear múltipla, como ordinal, dicotômica simples ou dicotômica múltiplas, *dummy*.

Tabela 5 – Escala de Ashworth¹¹⁵

Grau	Classificação
0	Nenhum aumento de tônus muscular
1	Leve aumento de tônus. Apresenta sinal do canivete no movimento de flexão ou extensão
2	Moderado aumento do tônus. A flexão do membro é realizada facilmente
3	Aumento do tônus acentuado com dificuldade dos movimentos passivos e
4	Rigidez do membro em flexão ou extensão

3.4. Análise e tratamento estatístico

As variáveis contínuas estão expressas como média e desvio-padrão(\pm) e analisadas, quando indicado, com teste t de Student e análise da variância (ANOVA), complementada com teste de Bonferroni (*post hoc*). No caso de proporções, utilizamos o teste qui-quadrado (χ^2). O aplicativo utilizado, tanto para a etapa de avaliação bivariada como na multivariada, foi o *SPSS* (versão 13; Chicago, IL). A diferença estatística foi considerada significativa quando a probabilidade de sua ocorrência devido ao acaso mostrou-se menor que 5% ($P < 0,05$).

As referências citadas neste estudo, bem como a sua apresentação na forma de lista bibliográfica, ao final, foram compiladas e processadas pelo aplicativo Reference Manager (versão 11, *Research Information System*), nos padrões do grupo Vancouver.¹¹⁷

3.4.1. Análise dos maiores valores em função da repetição das manobras

O protocolo do estudo foi conduzido com quatro manobras de aferição, para cada pressão de interesse. Para efeito de análise, somente o maior valor foi considerado. A análise foi conduzida no sentido de definir se o número de repetições empregadas foi adequado. Para tanto, construímos uma tabela cruzando os grupos de pacientes e as seqüências das manobras, com a distribuição de freqüência absoluta e relativa das maiores pressões obtidas. Da mesma forma, elaboramos gráficos com os grupos e a distribuição percentual dos maiores valores obtidos, segundo a seqüência do teste. Para finalizar, aplicamos um teste χ^2 para tendência dentro de cada grupo, segundo o tipo de pressão avaliada. A partir dessa abordagem, podemos avaliar melhor se ocorreu um efeito de aprendizado, cansaço ou fadiga muscular, no sentido de determinar o número ideal de testes a serem conduzidos. Com objetivo de melhor conhecer a variação do exame, calculamos o coeficiente de variação, com base nos valores médios e do desvio-padrão das quatro medidas, de todos participantes e dos subgrupos.

3.4.2. Correlação e regressão simples com nível da lesão

Além de considerarmos os grupos (tetraplégicos e paraplégicos) e os subgrupos (lesão cervical alta e baixa, toracolombar alta e baixa), para efeito da análise de correlação, a exemplo de outros autores,^{62;63} foram atribuídos aos níveis C1, C2, C3,...L1, L2 e L3, respectivamente, os valores 1, 2, 3, ..., 21, 22, 23. Vale ressaltar que,

naqueles casos em que o nível motor da lesão variou entre os dimídios, considerou-se o mais elevado. Como o número de participantes para cada nível de lesão variou entre 1 a 17, para efeito da análise correlativa, nos casos com mais de dois valores, consideramos a média dos percentuais previstos, caso contrário, consideramos o único valor disponível. Procedemos dessa forma para minimizar o viés relacionado a essa discrepância de observações. Assim, a análise correlativa contou com diferentes pontos representados pelos níveis motores disponíveis (C4 a L3) para PEMáx e PIMáx. Para tanto, conduziram-se duas análises, dividido o grupo em relação à extensão da lesão: motora completa (ASIA A e B), 99 indivíduos com 19 pontos e incompleta (ASIA C e D), 32 pacientes e 17 pontos.

3.4.3. Regressão linear múltipla

Os modelos de regressão linear múltipla foram construídos utilizando o método de seleção automática *stepwise*. O critério para inclusão de uma variável independente no modelo foi com base no P-valor $< 0,05$ e para exclusão, P-valor $> 0,10$, de acordo com teste F. A significância do coeficiente também foi considerada com base no valor de $P < 0,05$. O modelo final foi determinado com base no coeficiente ajustado de determinação, R^2 , e teste F, aliado à relevância e praticidade clínica.

A multicolinearidade foi analisada a partir dos fatores inflatores da variância (VIF - *variance inflation factors*).¹¹⁸

De posse dos modelos de regressão linear múltipla, analisamos o resíduo *studentized* (diferença entre o valor observado e o previsto) em relação aos valores previstos. O objetivo dessa análise foi identificar as potenciais observações atípicas (*outliers*). Para tanto, os indivíduos que apresentaram valores superiores a 2 e inferiores a -2 foram investigados, no sentido de verificar a existência de valores improváveis. Na existência deles, exclui-se o participante e um novo modelo é construído.

Para validar o modelo, utilizamos uma técnica de reamostragem denominada *Bootstrap*, do *SPSS* 13. Com base na sintaxe indicada pelo próprio tutorial do aplicativo (http://pages.infinit.net/rlevesqu/Syntax/Bootstrap/oms_bootstraping.txt, acessado em 05/09/2006), adaptado para as variáveis de nosso interesse e com uma reamostragem de mil modelos, conduzimos a presente análise. Importante destacar que essas reamostragens foram de tamanhos variáveis. A partir do modelo gerado, pela técnica *stepwise* as variáveis independentes obtidas foram testadas com o *bootstrapping*. Cada modelo gerado proporcionou novos coeficientes e uma participação mutável das variáveis de interesse. A variabilidade dos coeficientes gerados foi expressa na forma de média e intervalo de confiança. Por outro lado, a participação das variáveis foi analisada em termos da sua frequência relativa nos mil modelos gerados, segundo o nível de significância, 1%, 5% e 10%.

Cálculo do limite inferior

Após a composição dos modelos finais de previsão para as pressões respiratórias estáticas máximas, foi calculado o limite inferior dos valores previstos pelas respectivas equações, expresso em termos percentuais. Inicialmente, determinamos o quinto percentil dos resíduos do modelo da regressão linear múltipla. Em seguida, calculamos a média ajustada dos valores esperados. O modelo, para anular o valor negativo, da relação entre o 5º percentil e a média ajustada pelos valores teóricos, em termos percentuais, indica a proporção de indivíduos que estão aquém do limite de tolerância de 5%.^{119;120} Assim, o cálculo expressa o limite mínimo tolerado para classificar o indivíduo com lesão medular como portador de um déficit muscular, além do esperado.

4. Resultados e comentários

4.1. Caracterização espirométrica

Considerando os percentuais do previsto, a CVF e o VEF₁ foram diferentes entre os subgrupos ($P < 0,001$). A maior redução dos parâmetros espirométricos foi verificada nos pacientes com lesão medular cervical alta (C4-C5, CVF 49%±25 do previsto) com uma nítida elevação nos outros subgrupos (C6-C8, 63%±19 do previsto; T1-T6, 70%±15), culminando com normalidade nos indivíduos com paraplegia baixa (T7-L3, 84%±15 do previsto (Figura 5). A relação VEF₁/CVF x 100 mostrou-se normal ($> 80\%$) e sem diferenças entre todos os subgrupos, afastando distúrbio ventilatório obstrutivo (Tabela, Anexo C).

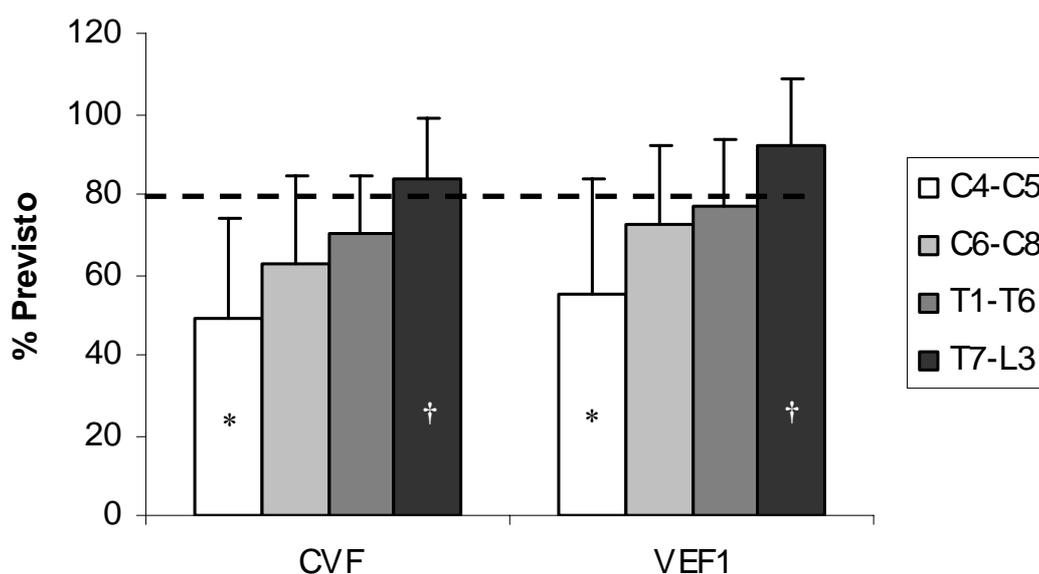


Figura 5 – Valores médios e desvio-padrão (\pm) do percentual do previsto da capacidade vital forçada (CVF) e do volume expiratório forçado no 1º segundo (VEF₁) dos subgrupos C4-C5, C6-C8, T1-T6 e T7-L3. * $P \leq 0,04$ e † $P \leq 0,01$ (intra-grupo).

4.2. Pressões respiratórias máximas

4.2.1. Maiores valores em função da repetição das manobras

Como realizamos quatro testes para cada pressão de interesse, analisamos a frequência do maior valor obtido em relação à sua seqüência. A distribuição do maior valor da pressão inspiratória máxima apresentou comportamento diferente entre os pacientes tetraplégicos e paraplégicos. No subgrupo de pacientes com lesão medular cervical alta, C4-C5, constatamos que 40% apresentaram a melhor performance na terceira medida, enquanto o grupo C6-C8 não apresentou diferença entre as três últimas mensurações. Vale salientar que, para todo o grupo de pacientes tetraplégicos, não houve tendência à elevação da pressão em relação a repetição do teste. Já entre os paraplégicos, observamos a tendência ($P < 0,01$) da elevação da pressão inspiratória, com a repetição do teste (Figura 6).

Analisando a pressão expiratória máxima, permanece a inexistência da tendência do aumento da pressão com a repetição das manobras no grupo de tetraplégicos, mas ressaltamos que os maiores valores obtidos foram no quarto teste. Nos subgrupos dos pacientes paraplégicos, o fenômeno de tendência se repete ($P < 0,001$), (Figura 7).

PI_{máx} - Frequência dos Valores máximos

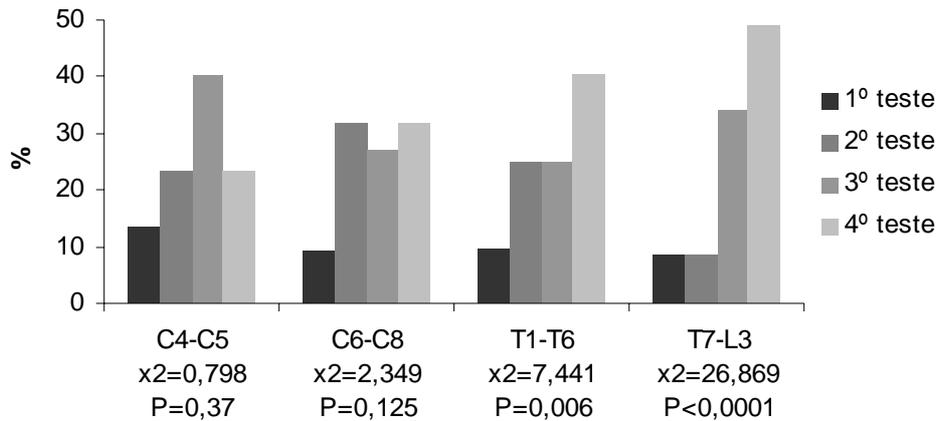


Figura 6 - Histograma de frequência do percentual dos maiores valores da pressão inspiratória, em função dos quatro testes subsequentes a que os pacientes foram submetidos. Os valores abaixo dos subgrupos correspondem ao χ^2 de tendência com os respectivos valores de P.

PE_{máx} - Frequência dos Valores máximos

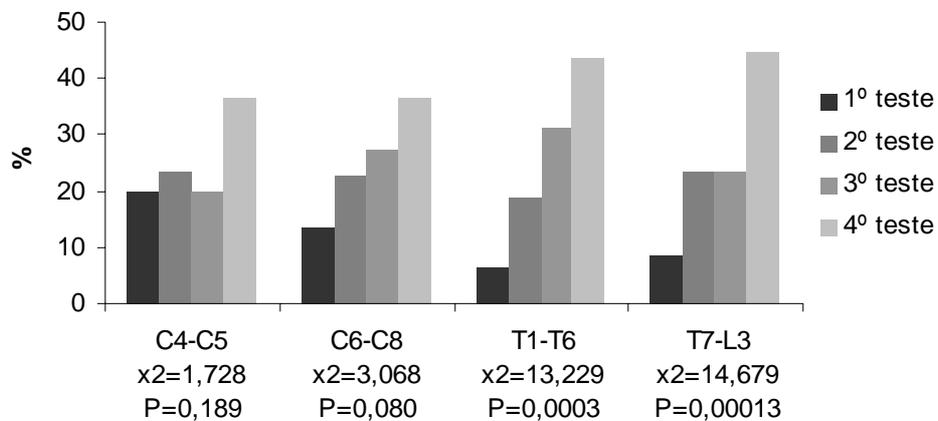


Figura 7 - Histograma de frequência do percentual dos maiores valores da pressão expiratória, em função dos quatro testes subsequentes a que os pacientes foram submetidos. Os valores abaixo dos subgrupos correspondem ao χ^2 de tendência com os respectivos valores de P.

Considerando todos os pacientes, o coeficiente de variação médio dos quatro testes da pressão inspiratória máxima foi de 11,6%, oscilando entre os subgrupos de 9,0% (C4-C5) a 13,1% (T7-L3), (Tabela, Anexo D). Para a pressão expiratória foi de 12,3%, com variação de 11,9% (C6-C8 e T7-L3) a 13,0% (C3-C5), (Tabela, Anexo E).

4.2.2. Pressões respiratórias estáticas máximas x nível da lesão

De modo geral, os percentuais do previsto das pressões respiratórias máximas seguiram o mesmo comportamento da CVF e VEF₁, com diferença entre os subgrupos ($P < 0,001$). Especificamente, a pressão inspiratória estática máxima (PIMáx), considerando a equação de Black e Hyatt,³¹ mostrou valores médios normais e indistinguíveis entre os subgrupos de pacientes com lesão toracolombar. Já entre os tetraplégicos, o mais baixo valor médio encontrado foi naqueles indivíduos com lesão cervical alta ($50\% \pm 23$). Quanto à pressão expiratória estática máxima (PEMáx) todos os percentuais previstos médios dos subgrupos mostraram-se diferentes ($P < 0,001$) e abaixo dos 60%, com um gradiente entre os subgrupos extremos (respectivamente, $19\% \pm 14$ e $51\% \pm 19$, para cervical alto e toracolombar baixo) (Tabela 6). A simples inspeção da Figura 8 permite constatar que a repercussão negativa do acometimento medular sobre os percentuais do previsto das pressões respiratórias estáticas máximas, independentemente do nível, foi maior para a pressão expiratória, em relação à inspiratória (médias de todos os subgrupos, respectivamente, $37\% \pm 21$ e $74\% \pm 30$, Tabela 6).

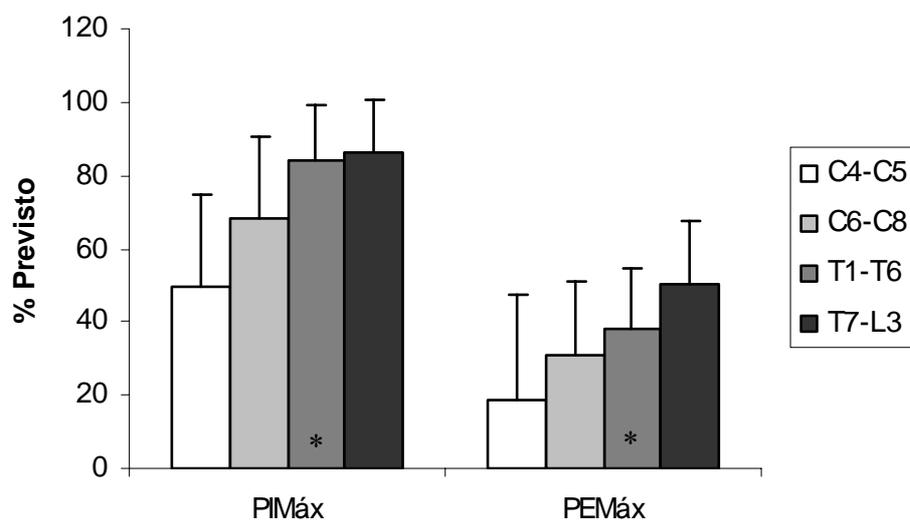


Figura 8 – Valores médios e desvio-padrão (\pm) do percentual do previsto das pressões respiratórias (PIMáx e PEMáx) estáticas máximas dos subgrupos C4-C5, C6-C8, T1-T2 e T7-L3.

* $P < 0,0001$ em relação aos indivíduos paraplégicos (T1-T2 e T7-L3).

† $P < 0,0001$ em relação aos outros subgrupos.

Tabela 6 – Valores médios (\pm)desvio-padrão das pressões respiratórias máximas.

Pressões respiratórias estáticas máximas*	Tetraplégicos (n)		Paraplégicos (n)		Combinado (131)
	C3-C5 (30)	C6-C8 (22)	T1-T6 (32)	T7-L3 (47)	
PIMáx (cmH₂O)					
Observado	55,67 \pm 28,38	87,27 \pm 35,73	94,84 \pm 31,09	100,94 \pm 33,51	86,79 \pm 36,41
% do Previsto	49,57 \pm 23,09	68,49 \pm 30,27	84,4 \pm 25,41	85,98 \pm 27,76	74,32 \pm 30,25
PEMáx (cmH₂O)					
Observado	39,43 \pm 29,4	60,54 \pm 30,03	73,22 \pm 24,47	102,13 \pm 32,26	73,72 \pm 37,98
% do Previsto	18,97 \pm 14,44	30,86 \pm 17,36	37,9 \pm 15,23	50,57 \pm 19,01	36,93 \pm 20,66

*PIMáx -Pressão inspiratória máxima em cmH₂O; PEMáx -Pressão expiratória máxima em cmH₂O; % do Previsto – Percentual do previsto com base na equação de previsão.³¹

A próxima etapa foi avaliar a possibilidade de associação entre extensão da lesão e as pressões respiratórias máximas. Para tanto, separamos as lesões motoras completas (ASIA A e B) das incompletas (ASIA C e D).

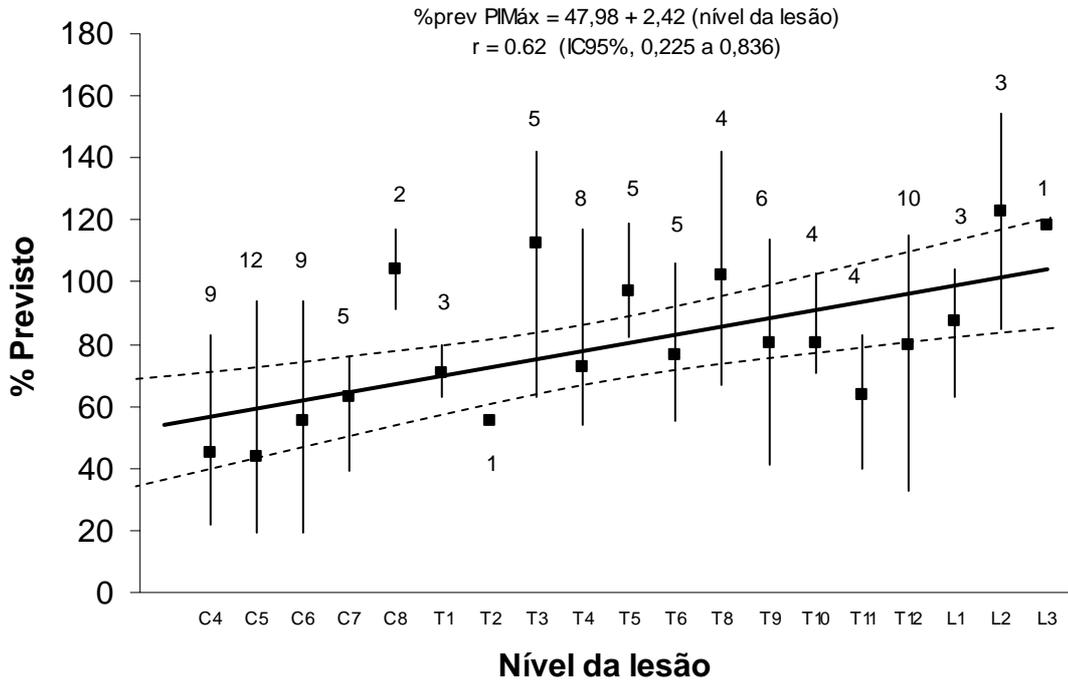
A regressão linear simples nos pacientes do primeiro grupo, considerando o nível motor específico da lesão e os valores médios percentuais dos previstos das pressões respiratórias estáticas máximas contou com 99 pacientes. Embora ambas as correlações tenham se mostrado significativas, a melhor foi obtida com PEMáx ($r= 0,81$, $P<0,0001$; $r^2= 0,65$), em relação ao PIMáx ($r= 0,62$, $P=0,004$; $r^2= 0,38$), Figura 9. As equações das retas obtidas através da análise de regressão simples estão expressas abaixo.

$$\text{PEMáx \% do previsto} = 5,35 + 2,69 \times \text{nível motor da lesão}$$

$$\text{PIMáx \% do previsto} = 47,98 + 2,42 \times \text{nível motor da lesão}$$

Quando realizada a mesma análise, agora apenas com os 32 pacientes classificados como ASIA C e D, ou seja, lesão motora incompleta, não constatamos nenhuma correlação. De qualquer forma, os valores encontrados para PEMáx foram: $r= 0,22$, $P=0,40$; $r^2= 0,65$; e para PIMáx: $r= 0,21$, $P=0,421$; $r^2= 0,38$.

Pressão inspiratória máxima



Pressão expiratória máxima

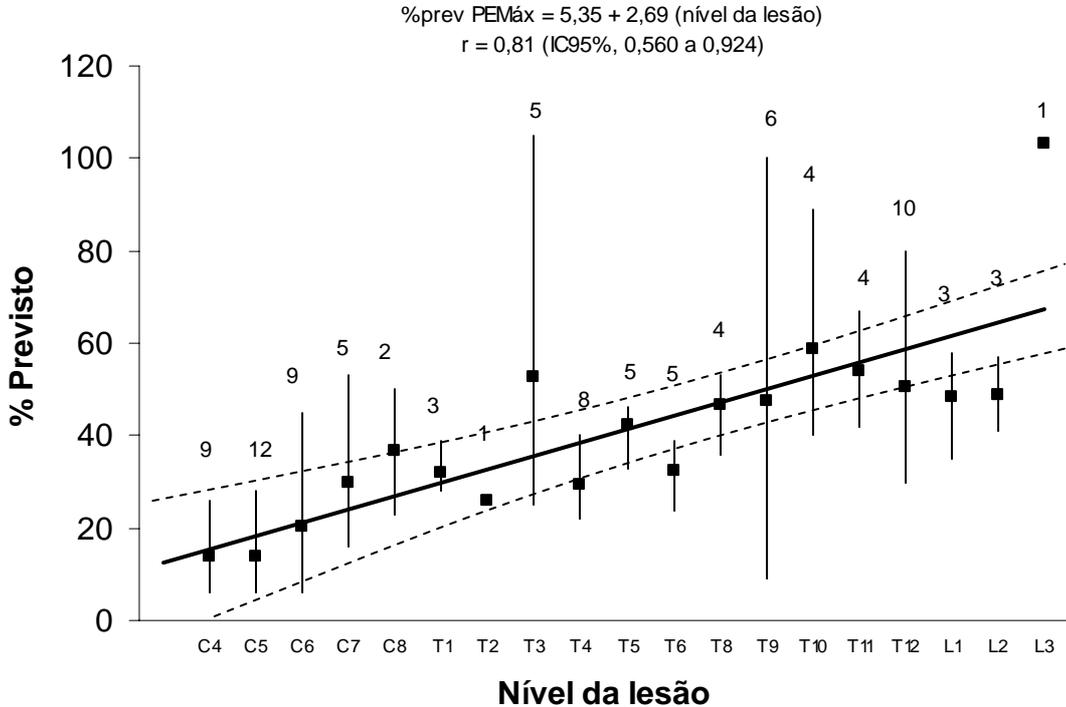


Figura 9 – Regressão linear simples, coeficiente de correlação (r), e as equações PIMáx (acima) e PEMáx (abaixo). As barras verticais e os números representam a variação da pressão para cada nível e o número de participantes. A linha pontilhada indica o limite do intervalo de confiança de 95%.

4.2.3. Análise multivariada: desenvolvimento dos modelos de previsão

Para tornar mais claras as etapas que seguimos no desenvolvimento dos modelos teóricos das pressões inspiratória e expiratória máximas, especificamente para indivíduos com lesão medular traumática, resolvemos adaptar as fases preconizadas por Katz.¹²¹

4.2.3.1. Definição do tipo de modelo multivariado

O modelo multivariado aplicado foi uma regressão linear múltipla, com base no tipo de variável dependente considerada no presente estudo: pressões inspiratória e expiratória estáticas máximas, que são variáveis contínuas.

4.2.3.2. Análise univariada

Para tanto, conduzimos uma análise descritiva, com a confecção de histogramas de frequência e testes de normalidade. Todas as variáveis contínuas apresentaram uma distribuição normal, com exceção da variável tempo de lesão por apresentar uma maior concentração de pacientes com até 50 meses de evolução. A normalização dessa variável foi possível após a transformação logarítmica (Tabela, Anexo F). Independentemente dessa avaliação, poderíamos assumir uma distribuição simétrica, Gaussiana, já que se trata de uma amostra com mais de 100 participantes, em que o teorema do limite central poderia ser aplicado.¹¹⁸ A partir da simples observação das distribuições das variáveis contínuas (Figura, Anexo G), não foram detectados valores improváveis, desvios significantes, lacunas e valores discrepantes em todas as variáveis.

No que tange às variáveis categóricas, todas ordinais, à exceção do gênero, também observamos um padrão homogêneo de distribuição (Tabela 7),

particularmente para o nível da lesão (Figura 10). Vale destacar que essa distribuição foi variável.

Tabela 7 - Análise univariada: distribuição das frequências das variáveis categóricas.

Variáveis categóricas	N	%
Sexo		
Masculino	90	68,7
Feminino	41	31,3
Total	131	100,0
Tetraplégicos		
C3-C5	30	22,9
C6-C8	22	16,8
Paraplégicos		
T1-T6	32	24,4
T7-L3	47	35,9
Total	131	100,0
Extensão da lesão (ASIA)		
A	77	58,8
B	22	16,8
C	18	13,7
D	14	10,7
Total	131	100,0
Lesão completa	99	75,6
Lesão Incompleta	32	24,4
Total	131	100,0
Espasticidade		
Não	35	26,7
Sim	96	73,3
Total	131	100,0
Escala de Ashworth		
0	25	19,1
1	13	9,9
2	33	25,2
3	41	31,3
4	19	14,5
Total	131	100,0
Tabagismo*		
Nunca	90	68,7
Ex	24	18,3
Atual	17	13,0
Total	131	100,0
Tabagismo†		
Não	90	68,7
Sim	41	31,3
Total	131	100,0
História de complicação pulmonar após a lesão		
Não	50	38,2
Sim	81	61,8
Total	131	100,0

*Tabagismo: variável ordinal; ex = mínimo de um ano sem uso de tabaco.

†Tabagismo: variável dicotômica; história de tabagismo sim ou não.

Distribuição do nível da lesão

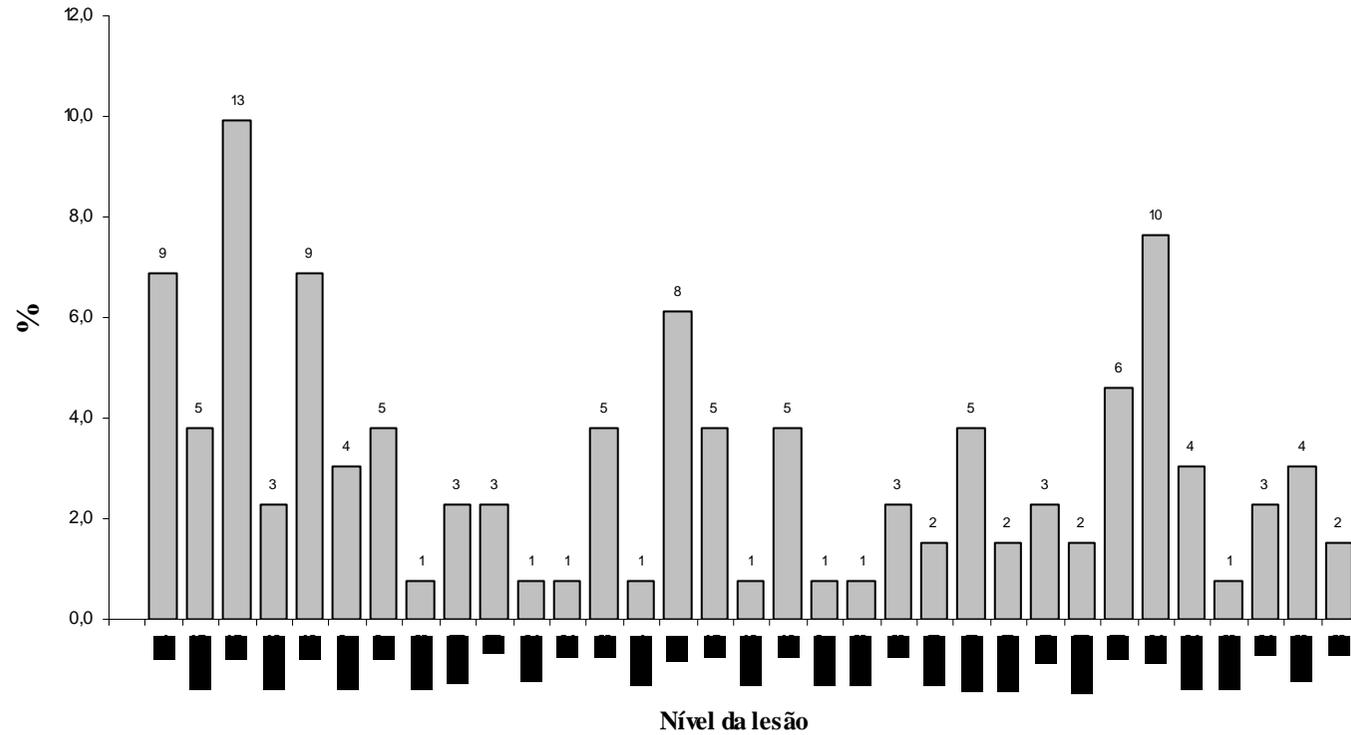


Figura 10 – Distribuição do nível motor da lesão medular traumática. O valor acima da barra representa o número de participantes em cada nível.

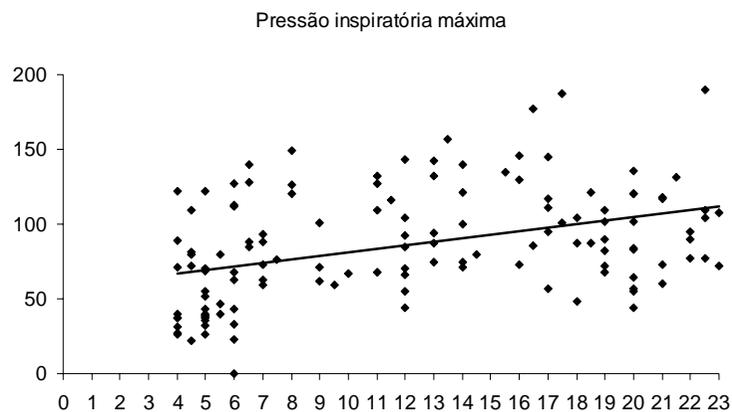
4.2.3.3. Análise de regressão linear simples

Para detectar a correlação entre as variáveis dependente e as potencialmente independentes, foi conduzida análise de regressão linear simples. Foi constatado que algumas dessas variáveis mostraram uma correlação linear significativa, com base no intervalo de confiança do coeficiente de correlação e teste de hipótese. Para a pressão inspiratória máxima, encontramos as seguintes variáveis com significância: peso, peso ideal, envergadura, índice de massa corpórea e o nível motor da lesão (Tabela e Figura, Anexo H e I). Já para a pressão expiratória máxima, encontramos significância para as mesmas variáveis anteriores, com exceção do índice de massa corpórea (Figura, Anexo J). Calculado o coeficiente de determinação (r^2) da regressão linear simples sem e com transformação logarítmica (Tabela, Anexo L), somente a variável independente “nível motor da lesão” apresentou incremento do r^2 para pressão inspiratória estática máxima, após a correção logarítmica (Figura 11).

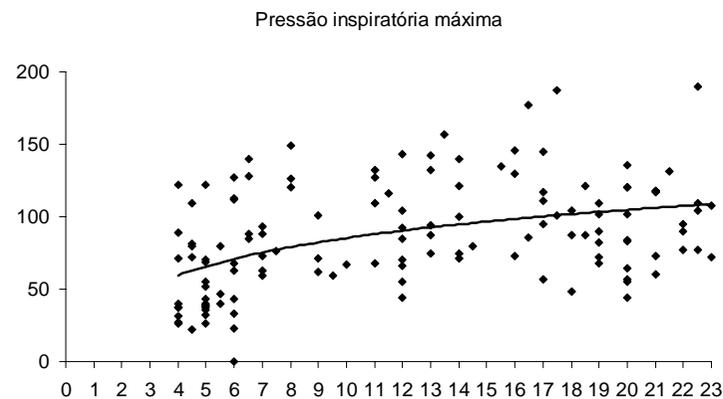
Da mesma forma, para as variáveis categóricas, encontramos diferença entre as médias pressóricas para “gênero” e “nível da lesão” (tetraplégicos e paraplégicos), independente do tipo de mensuração (PIMáx e PEMáx). Considerando somente a pressão inspiratória máxima, também encontramos diferença com relação ao hábito de fumar, enquanto na pressão expiratória máxima, a presença de espasticidade nos membros (Tabela 8).

No conjunto das variáveis analisadas, algumas são classificadas como categóricas ordinais (grupo da lesão; extensão da lesão – ASIA; escala de Ashworth e tabagismo). No sentido de testar a linearidade dessas com a variável dependente, transformamos as diversas categorias em variáveis dicotômicas múltiplas (*dummying*). Para tanto, consideramos como referência, respectivamente, paraplegia baixa, ASIA D, escala de Ashworth grau 0 e não-tabagista. Assim, por exemplo, a variável tabagismo

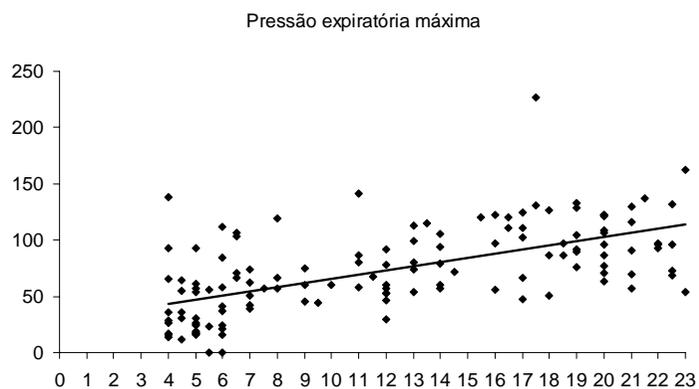
Figura 11 – Correlação linear simples entre as pressões respiratórias estáticas máximas e o nível da lesão.



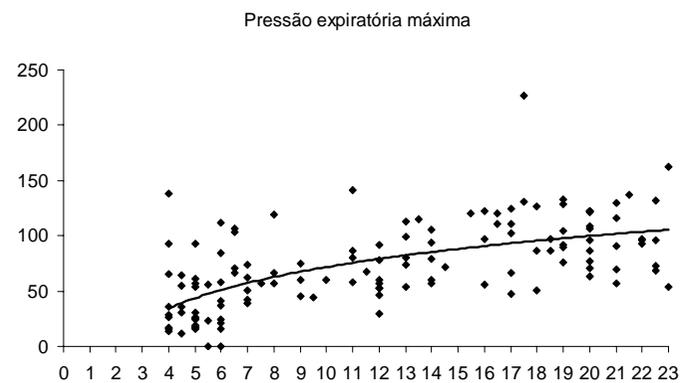
Correlação linear simples entre PIMáx x nível da lesão



Correlação linear simples entre PIMáx x nível da lesão, após transformada logarítmica



Correlação linear simples entre PEMáx x nível da lesão



Correlação linear simples entre PEMáx x nível da lesão, após transformada logarítmica

Tabela 8 – Valores médios e desvio-padrão (DP) das pressões respiratórias estáticas máximas com relação às variáveis categóricas.

Variáveis categóricas	Pressão inspiratória máxima, cmH ₂ O			Pressão expiratória máxima, cmH ₂ O		
	Média	DP	P	Média	DP	P
Gênero						
Feminino	65,17	22,49	0,003	59,22	33,35	< 0,001
Masculino	96,63	37,36		80,33	38,28	
Nível da Lesão						
Tetraplégico C3-C8	69,04	35,11	< 0,001	48,37	31,21	< 0,001
Paraplégico T1-L3	98,47	32,49		90,42	32,49	
Extensão da Lesão (ASIA)						
A	83,39	37,07	0,543	69,90	37,35	0,257
B	91,64	36,20		74,23	39,01	
C	87,44	42,41		75,28	47,85	
D	97,00	23,15		92,00	19,03	
Espasticidade						
Não	89,29	38,5	0,617	86,39	39,73	0,014
Sim	85,76	35,69		68,55	36,19	
Escala de Ashworth						
0	95,04	41,49	0,398	94,72	36,87	0,035
1	78,23	30,42		70,38	41,55	
2	80,67	31,33		64,06	34,57	
3	83,93	36,8		67,07	32,59	
4	98,58	39,7		79,53	45,15	
Tabagismo*						
Nunca	79,79	36,67	0,001	69,81	39,8	0,163
Ex	108,48	32,89		85,92	33,35	
Atual	92,25	25,92		76,69	31,16	
Tabagismo†						
Não	79,79	36,67	0,001	69,81	39,8	0,080
Sim	102,15	31,06		82,32	32,43	
História de complicação pulmonar após a lesão						
Não	87,21	33,89	0,866	73,16	32,02	0,829
Sim	86,10	40,51		74,64	46,38	

*Tabagismo: variável ordinal; ex = mínimo de um ano sem uso de tabaco.

†Tabagismo: variável dicotômica; história de tabagismo sim ou não.

pode assumir três valores: nunca fumou (0); ex-tabagista (1) e tabagista (2). Essa variável pode ser transformada em três outras dicotômicas: nunca fumou (sim ou não), ex-tabagista (sim ou não) e tabagista (sim ou não). Dessa última forma, fica mais fácil verificar a linearidade entre as variáveis, desde que um dos extremos seja adotado como referência. Essa escolha fica na conveniência do pesquisador. Nos casos das variáveis *dummies* apresentarem comportamento linear, com base nos coeficientes da regressão, significa dizer que poderão ser incluídas no modelo como variáveis ordinais, implicando uma maior facilidade de aplicação da equação. Na simples inspeção das Figuras 12 e 13, constatamos um comportamento linear da variável grupo nível da lesão medular traumática independentemente das pressões. Para pressão inspiratória estática máxima (PIMáx), nenhuma das outras variáveis mostrou-se linear. Para a pressão expiratória estática máxima (PEMáx), somente a variável extensão da lesão - ASIA - apresentou linearidade.

4.2.3.4. Análise da colinearidade

Para detectar a presença de colinearidade, construímos uma matriz de correlação entre as variáveis contínuas, potencialmente independentes (Tabela 9). As duas melhores correlações foram observadas entre IMC e peso observado ($r=0,79$) e peso ideal com a envergadura ($r=0,99$). Essas duas colinearidades já eram esperadas, já que o peso observado está contido no cálculo do IMC, assim como a envergadura no cálculo do peso ideal. Assim, considerando critérios clínicos e de maior aplicabilidade, excluimos as variáveis IMC e peso ideal das etapas seguintes, na definição do modelo de análise de regressão linear múltipla.

Figura 12 – Painel com análise da linearidade das variáveis independentes categóricas, como *dummy* em relação à pressão inspiratória estática máxima.

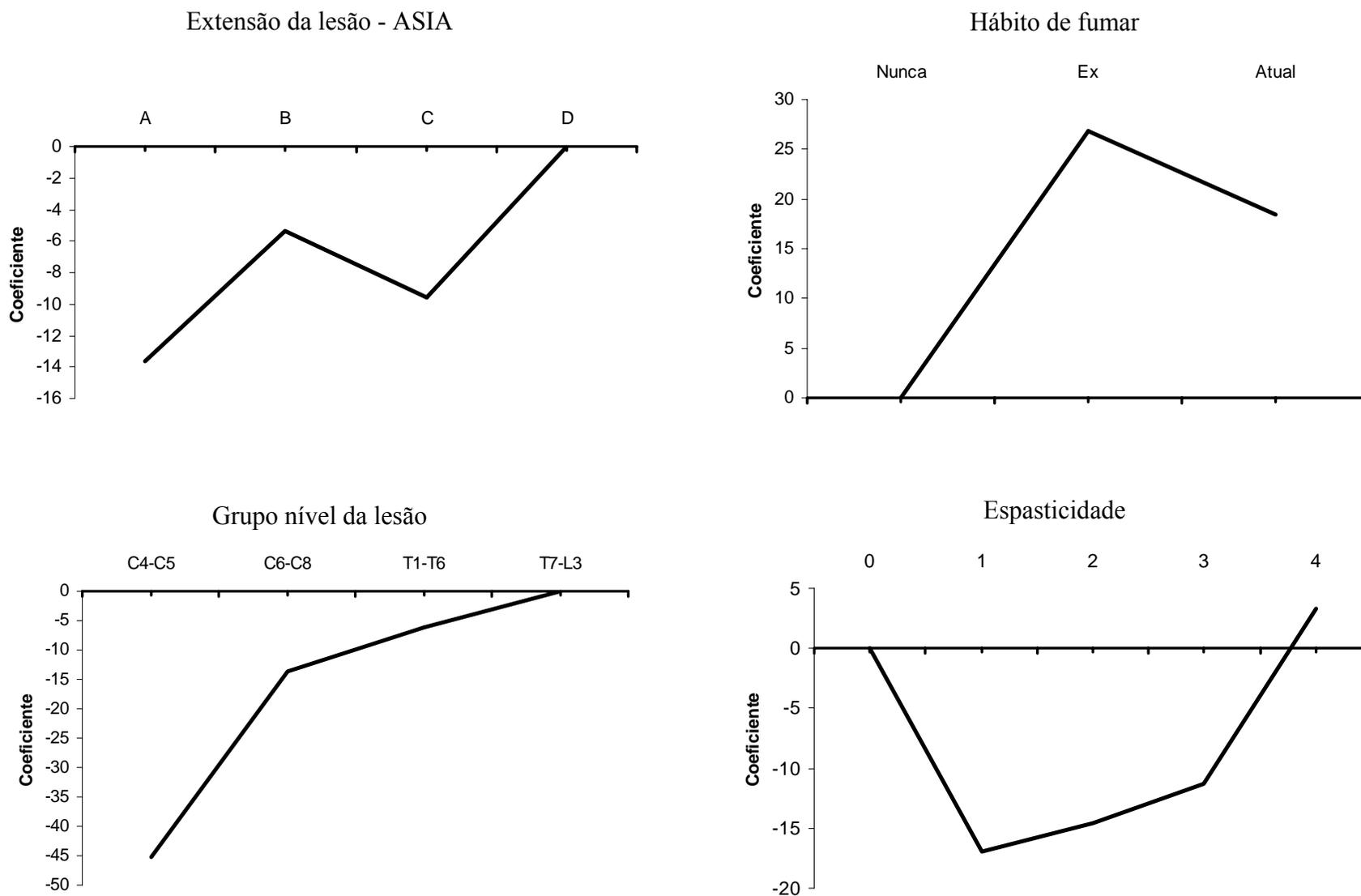


Figura 13 – Painel com análise da linearidade das variáveis independentes categóricas, como *dummy* em relação à pressão expiratória estática máxima.

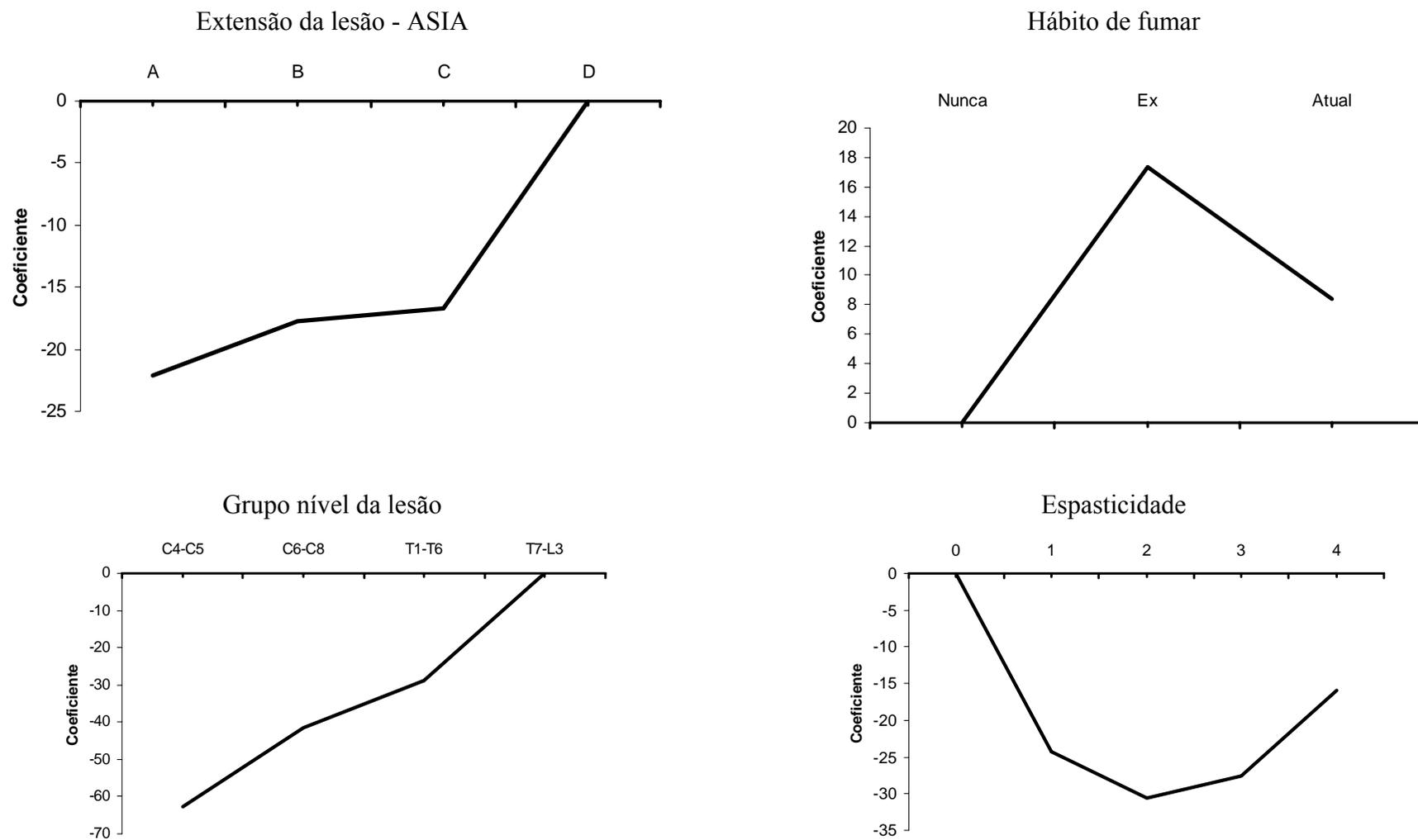


Tabela 9 - Análise de correlação entre as variáveis contínuas potencialmente independentes.

Correlação	Idade	Peso	Peso ideal	Envergadura	IMC	Tempo de Lesão
Idade, anos	1	-	-	-	-	-
Peso, Kg	0,09	1	-	-	-	-
Peso ideal, Kg	-0,05	0,52	1	-	-	-
Envergadura, cm	-0,05	0,52	0,99	1	-	-
IMC, Kg/m ²	0,14	0,79	-0,10	-0,11	1	-
Tempo de lesão log, meses	0,14	-0,01	-0,21	-0,19	0,13	1

4.2.3.5. Variáveis testadas no modelo de regressão linear múltiplo

O conjunto das variáveis independentes que foram testadas no modelo multivariado foi baseado na análise de correlação ($P < 0,10$) e na presença de colinearidade. A variável “etnia”, embora tenha sido coletada, não foi considerada, tendo em vista não existir um bom critério para suas categorias, aliado ao fato de que a maioria das equações publicadas não a contemplam. Assim, foram testadas no modelo de regressão linear múltiplo, independente da pressão respiratória de interesse, peso, envergadura, gênero e nível da lesão. No caso particular da PIMáx, também acrescentamos o tabagismo e, para PEMáx, a espasticidade. Definidas as variáveis a serem testadas no modelo, procederam-se as etapas de seleção automática (*stepwise*) conduzidas pelo próprio aplicativo. Vários modelos foram testados, tendo em vista que muitas das variáveis testadas admitiam várias formas de categorização e avaliação (dicotômica simples e variável dicotômica múltipla – *dummy*). O critério de elegibilidade do modelo final obedeceu a uma avaliação estatística (coeficiente ajustado de determinação, R^2 , e teste F), relevância e praticidade clínica.

Antes de apresentarmos os modelos finais obtidos, deve-se chamar atenção para o tratamento despendido para duas variáveis em particular. Dentre as

diversas possibilidades de avaliação do tabagismo e a extensão da lesão, respectivamente para PIMáx e PEMáx, conduzimos uma análise comparativa entre os diversos modelos. Exibimos a seguir esses resultados.

4.2.3.5.1. Análise da variável independente tabagismo

Como a variável independente “tabagismo” foi significativa no modelo de regressão linear múltipla para pressão inspiratória estática máxima, analisamos a sua presença na equação de várias formas. Além de dicotômica e como *dummy*, também variamos o ponto de corte em relação ao período de abstinência do fumo, ou seja, os ex-tabagistas. Nesse caso, analisamos a classificação de ex-tabagista, segundo três pontos de corte: cinco meses, um ano e dois anos. Importante destacar que, dentre os cinco modelos construídos, a variável não foi significativa somente em uma das equações, quando analisada como dicotômica simples, agrupando os ex-tabagistas com os que nunca fumaram contra os tabagistas.

A decisão final em relação ao tratamento da variável independente “tabagismo” recaiu na dicotômica simples, ex-tabagista e tabagista contra os que nunca fumaram, com base maior valor do coeficiente de determinação (R^2), da significância da variável e aliado à aplicabilidade. Vale salientar que a variável “tabagismo” foi significativa em quatro das cinco formas de análise (Tabela 10).

Tabela 10 - Análise da variável tabagismo em relação aos modelos de regressão linear múltipla.

Variável dicotômica	Coefficiente	R ²	P-valor da variável	P-valor do modelo
Variável dicotômica simples				
Tabagista + ex-tabagista x Nunca fumou	12,427	0,436	0,021	< 0,001
Tabagista x Ex-tabagista + nunca fumou	- 0,022	0,412	0,998	< 0,001
Variável dicotômica múltipla - <i>dummy</i>				
Nunca fumou	0,0		-	
Ex-tabagista (5meses)	17,032	0,440	0,008	< 0,001
Tabagista	4,001		0,600	
Nunca fumou	0,0		-	
Ex-tabagista (12 meses)	18,465	0,438	0,013	< 0,001
Tabagista	7,886		0,229	
Nunca fumou	0,0		-	
Ex-tabagista (24 meses)	13,510	0,432	0,092	< 0,001
Tabagista	11,823		0,062	

R² - Coeficiente de determinação ajustado da regressão linear múltipla.

4.2.3.5.2. Análise da variável independente extensão da lesão

No modelo de regressão linear múltipla para pressão expiratória estática máxima, a variável independente extensão da lesão - ASIA - foi significativa. Por se tratar de uma variável com quatro categorias e de relevância clínica, analisamos sua participação no modelo de três maneiras. Primeiramente, categorizamos como variável ordinal (0, 1, 2 e 3, correspondendo a ASIA A, B, C e D). Em seguida, analisamos a mesma variável, agora dicotomizada em lesão motora completa (ASIA A e B=0) e incompleta (ASIA C e D=1). Finalmente, como variáveis dicotômicas múltiplas, *dummy*, utilizando ASIA D como referência. Vale destacar que essa variável apresentou um comportamento linear em relação à PEM_{max}, como exposto anteriormente (Figura

13), o que nos permite adotá-la como ordinal. Confrontando os coeficientes de determinação das três formas para se considerar a extensão da lesão (R^2 variando de 0,500 a 0,507; Tabela 11), optamos por considerar essa variável dentro do nosso modelo final como dicotômica, tendo em vista a mínima diferença das demais opções, aliada à facilidade de aplicação e interpretação clínica. Assim, com base no exposto, chegamos às equações constantes na Tabela 12.

Tabela 11 – análise da variável extensão da lesão (ASIA) modelos de regressão linear múltipla.

Variável ASIA	Coefficiente	R^2	P-valor da variável	P-valor do modelo
Variável ordinal (A, B, C e D)	5,591	0,507	0,013	< 0,001
Variável dicotômica simples				
A + B x C + D	12,792	0,504	0,021	< 0,001
Variável dicotômica múltipla - <i>dummy</i>				
A	-17,119	0,500	0,031	< 0,001
B	-12,910		0,168	
C	-6,075		0,530	
D	0,0		-	

R^2 - Coeficiente de determinação ajustado da regressão linear múltipla.

Tabela 12 – Modelos de regressão linear múltipla das pressões respiratórias estáticas máximas.

Pressões respiratórias	Equações†	Limite inferior	R^2
PIMáx* =	$30,636 - (25,635 \times \text{gênero}) + (13,960 \times \text{grupo nível da lesão}) + (0,569 \times \text{peso}) + (12,427 \times \text{tabagista})$	60%	0,436
PEMáx* =	$41,011 - (23,963 \times \text{gênero}) + (21,404 \times \text{grupo nível da lesão}) + (12,792 \times \text{ASIA})$	50%	0,504

*PIMáx = Pressão inspiratória estática máxima (cmH₂O) e PEMáx = Pressão expiratória estática máxima (cmH₂O).

† Gênero, 0=masculino e 1=feminino; grupo nível da lesão considera como variável ordinal (0=C4-C5; 1=C6-C8; 2=T1-T6; e 3=T7-L3); peso em Kg (37,5 a 94,0); tabagista, 0= nunca fumou e 1= tabagista atual ou ex-tabagista e ASIA (A e B=0; C e D=1).

4.2.4. Análise da multicolinearidade

Para avaliar a multicolinearidade entre as variáveis independentes nos modelos finais, utilizamos os fatores inflatores da variância (VIF - *variance inflation factors*), emitidos automaticamente pelo aplicativo utilizado durante a geração dos modelos. Quando a média dos fatores inflatores encontra-se acima de 5, temos uma possível multicolinearidade entre as variáveis. Com base nos valores apresentados na Tabela 13, concluímos que as variáveis independentes incluídas nos respectivos modelos não apresentaram multicolinearidade.

Tabela 13 – Coeficientes e os fatores inflatores da variância (VIF) dos modelos multivariados

Variável	PIMáx		PEMáx	
	Coeficiente	VIF*	Coeficiente	VIF
Gênero	-21,271	1,20	-25,635	1,23
Peso	0,264	1,24	0,569	1,22
Nível da lesão	21,065	1,03	13,96	1,03
Tabagismo	11,742	1,03	-	-
ASIA	-	-	12,427	1,06
Média	-	1,13	-	1,12

*VIF = fatores inflatores da variância; PIMáx= Pressão inspiratória máxima; PEMáx=Pressão expiratória máxima e tabagismo, não=0 e sim e ex=1.

4.2.5. Avaliação da coerência e habilidade para prever os valores teóricos

A etapa seguinte consistiu em uma análise visual dos gráficos correspondentes ao cruzamento dos valores teóricos ajustados, na abscissa, contra a regressão *studentized* dos resíduos (diferença do valor observado do previsto), na ordenada. Estabelecemos limites de -2 e +2 para o resíduo *studentized* e revimos todos os registros dos pacientes que se encontraram fora dessa faixa. Apresentamos, a seguir,

os respectivos gráficos, Figuras 14 e 15 e Tabelas 14 e 15 com as variáveis individuais de interesse.

Para PIMáx, dos quatro pacientes que se encontraram discrepantes entre valor teórico e observado, revimos o prontuário e a base de dados e não constatamos nenhuma inconsistência. Assim, tomamos a decisão de manter todos os participantes na construção do modelo final.

No que tange à PEMáx, adotamos a mesma sistemática acima e constatamos que seis indivíduos encontravam-se acima do limite de 2 do resíduo *studentized*. Revimos todos os dados desses pacientes e também não encontramos nenhuma inconsistência. Assim, tomamos a decisão de manter todos os participantes na construção do modelo final.

Por último, com base nas duas equações anteriormente geradas, conduzimos uma técnica de reamostragem conhecida como *bootstrap*. Nesse caso, foram feitas mil reamostragens com os cento trinta e um (131) pacientes. Essa análise proporcionou três tipos de informações: os valores médios e os respectivos intervalos de confiança (IC95%) dos coeficientes das variáveis envolvidas nos modelos, e a própria participação dessas variáveis no milhar de equações obtidas. Nas Tabelas 16 e 17 podemos observar a proximidade dos valores médios dos coeficientes dos modelos gerados pela análise de reamostragem em relação às equações finais, inclusive, contemplando nos seus respectivos intervalos de confiança (IC95%), tanto para PIMáx como para PEMáx. Nas Tabelas 18 e 19 estão expressos o percentual de participação das variáveis independentes com o respectivo nível de significância das pressões respiratórias estáticas máximas.

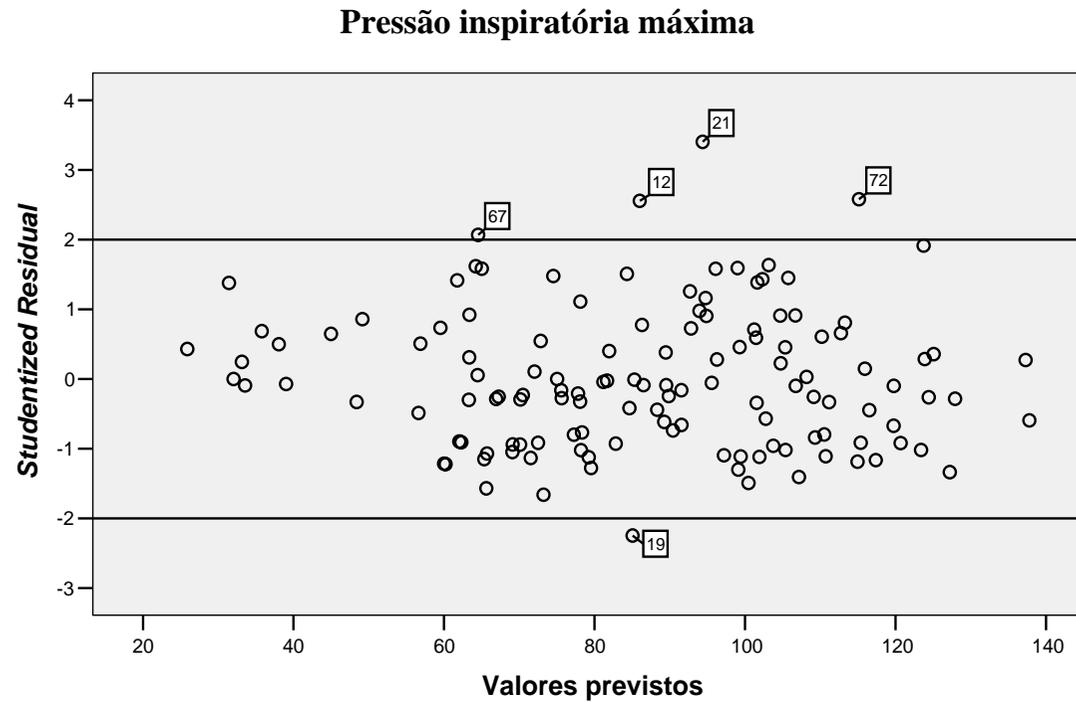


Figura 14 – Avaliação gráfica dos resíduos *studentized* da pressão inspiratória estática máxima.

Tabela 14 – Observações atípicas (*outliers*) constadas nos valores residuais *studentized* da pressão inspiratória estática máxima

Paciente #	Observado	Teórica	Gênero	Nível da lesão	Grupo nível	Peso	Tabagismo	ASIA	ASIA
12	157	86	M	T5-T6	2	52,0	Não	A	0
19	23	85	M	C6	1	69,0	Não	A	0
21	190	94	M	L2-L3	3	47,3	Não	B	0
67	122	65	M	C5	0	62,7	Não	A	0
72	187	115	M	T9-T10	3	79,5	Não	C	1

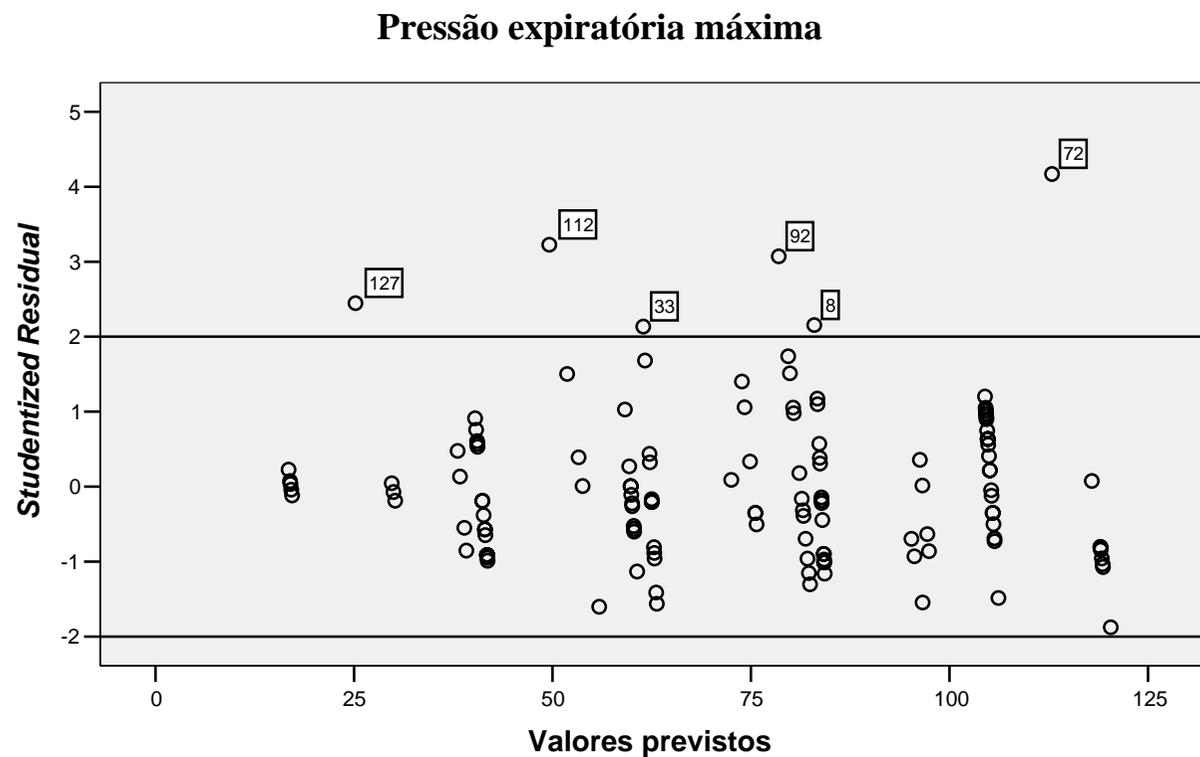


Figura 15 – Avaliação gráfica dos resíduos *studentized* da pressão expiratória estática máxima.

Tabela 15 - Observações atípicas (*outliers*) constadas nos valores residuais *studentized* na pressão expiratória estática máxima

Paciente #	Observado	Teórica	Gênero	Nível da lesão	Grupo nível	Peso	Tabagismo	ASIA	ASIA
8	141	83	M	T3	2	64,0	Ex	B	0
33	119	61	M	C8	1	85,0	Ex	A	0
72	227	113	M	T9-T10	3	79,5	Não	C	1
92	162	79	F	L3	3	71,0	Não	B	0
112	138	50	M	C4	0	94,0	Sim	D	1
127	93	25	F	C5	0	49,5	Não	D	1

Tabela 16 – Valores médios, e os respectivos intervalos de confiança (IC95%) dos coeficientes das variáveis independentes das pressões inspiratórias estáticas máximas a partir da análise do *bootstrap*.

Coeficientes†	Pressão inspiratória máxima, cmH ₂ O	
	Média	IC 95%
Constante	31,28	30,32 a 32,25
Gênero	-25,63	-25,96 a -25,30
Grupo nível da lesão	13,95	13,82 a 14,08
Peso	0,56	0,55 a 0,57
Tabagismo	12,43	12,12 a 12,74

† Gênero, 0=masculino e 1=feminino; grupo nível da lesão considerada como variável ordinal (0=C1-C5; 1= C6-C8; 2=T1-T6; e 3=T7-L3); tabagismo, 0= nunca fumou e 1= tabagista atual ou ex-tabagista.

Tabela 17 - Percentual de participação das variáveis nos modelos lineares multivariados para PEMáx pelo *bootstrap*.

Coeficientes†	Pressão expiratória máxima, cmH ₂ O	
	Média	IC 95%
Constante	41,15	40,87 a 41,43
Gênero	-24,04	-24,33 a -23,75
Grupo nível da lesão	21,34	21,21 a 21,47
ASIA	12,83	12,41 a 13,25

† Gênero, 0=masculino e 1=feminino; grupo nível da lesão considerada como variável ordinal (0=C1-C5; 1= C6-C8; 2=T1-T6; e 3=T7-L3); e ASIA, lesão medular completa (A e B=0) e lesão medular incompleta (C e D=1).

Tabela 18 – Percentual de participação das variáveis nos modelos lineares multivariados para PIMáx pelo *bootstrap*.

Variável	Nível de significância		
	1%	5%	10%
Constante	32,2	54,3	66,7
Gênero	97,9	99,7	100,0
Peso	49,0	70,9	79,8
Grupo nível da lesão	100,0	100,0	100,0
Tabagismo	39,3	64,4	76,6

Tabela 19 – Percentual de participação das variáveis nos modelos multivariado para PEMáx pelo *bootstrap*.

Variável	Nível de significância		
	1%	5%	10%
Constante	100,0	100,0	100,0
Gênero	98,5	99,5	100,0
Grupo	100,0	100,0	100,0
ASIA	40,3	63,0	72,1

4.2.6. Modelos finais e comentários

Preliminarmente, os modelos foram selecionados com base nos coeficientes de determinação ajustados (R^2) e nos P-valores do teste F das variáveis independentes. Posteriormente, as equações foram reavaliadas pela análise dos resíduos *studentized*, com objetivo de detectar as possíveis observações atípicas (*outliers*). Por último, através de uma técnica de reamostragem, *bootstrap*, foram construídas mil equações, o que nos permitiu identificar a estabilidade de participação das variáveis independentes nos modelos lineares múltiplos. Assim, apesar dos métodos empregados para o refinamento e validação, prevaleceu o modelo inicial.

4.2.6.1 Pressão inspiratória máxima

Na equação final de previsão para pressão inspiratória estática máxima, as variáveis que participaram positivamente foram: grupo do nível da lesão, peso e hábito de fumar. Como o peso aferido variou de 37,5 a 94,0 kg, a equação será melhor utilizada na mesma faixa de variação. Vale destacar que, a partir desses resultados, para os indivíduos com história positiva de tabagismo, espera-se um desempenho melhor da pressão inspiratória estática máxima. De modo geral, exceto para o hábito de fumar, existem fortes argumentos que, em tese, explicam a participação das variáveis independentes no modelo de regressão.

Tabela 12 - Modelo linear multivariado final da pressão inspiratória estática máxima

Pressão inspiratória	Equação†	Limite inferior	R²
PIMáx*= PIMáx	$30,636 - (25,635 \times \text{gênero}) + (13,960 \times \text{grupo nível da lesão}) + (0,569 \times \text{peso}) + (12,427 \times \text{tabagista})$	60%	0,436

*PIMáx = Pressão inspiratória estática máxima (cmH₂O).

† Gênero, 0=masculino e 1=feminino; grupo nível da lesão considera como variável ordinal (0=C4-C5; 1=C6-C8; 2=T1-T6; e 3=T7-L3); peso em Kg (37,5 a 94,0); tabagista, 0= nunca fumou e 1= tabagista atual ou ex-tabagista.

4.2.6.2 Pressão expiratória máxima

No modelo linear múltiplo final da pressão expiratória estática máxima, foi constatada a participação das variáveis ligadas à condição clínica da lesão medular, como grupo do nível da lesão e a extensão. No que diz respeito à variável “gênero”, observamos um melhor desempenho nos homens, condição semelhante encontrada para pressão inspiratória estática máxima. Do ponto de vista clínico, o modelo apresenta-se coerente, ou seja, quanto mais caudal o nível da lesão e/ou se a lesão motora for incompleta, espera-se um desempenho melhor da força muscular expiratória.

Tabela 12 - Modelo linear multivariado final da pressão expiratória estática máxima

Pressão expiratória	Equação†	Limite inferior	R²
PEMáx*= PEMáx	$41,011 - (23,963 \times \text{gênero}) + (21,404 \times \text{grupo nível da lesão}) + (12,792 \times \text{ASIA})$	50%	0,504

*PEMáx = Pressão expiratória estática máxima (cmH₂O).

† Gênero, 0=masculino e 1=feminino; grupo nível da lesão considera como variável ordinal (0=C4-C5; 1=C6-C8; 2=T1-T6; e 3=T7-L3); peso em Kg e ASIA (A e B=0; C e D=1).

5. Discussão

Com base em uma amostra de conveniência, composta de pacientes com lesão medular traumática de níveis diversos, constatamos um nítido gradiente de distúrbio ventilatório restritivo. Maior gravidade foi verificada entre aqueles com lesão cervical alta até a completa normalidade nos indivíduos com lesão toracolombar baixa.

Observamos, de modo geral, o mesmo comportamento para a pressão inspiratória, considerando os percentuais previstos médios das pressões respiratórias estáticas máximas. Por outro lado, a pressão expiratória, embora tenha mantido o mesmo perfil, mostrou-se sempre abaixo dos valores limítrofes de normalidade. Essa diferença entre as pressões respiratórias máximas também se refletiu na análise correlativa, considerados os valores médios de cada nível específico de lesão. Quanto mais baixo o nível, maiores foram as pressões, particularmente, a expiratória máxima.

O impacto do nível motor da lesão medular nas pressões respiratórias estáticas máximas também foi confirmado pela análise de regressão linear múltipla. Além do nível da lesão, o gênero, para ambas as pressões, foi considerado como variável independente. O peso e a história de tabagismo participaram somente da equação da pressão inspiratória, enquanto que a “extensão da lesão” (completa ou incompleta) esteve presente apenas da equação na pressão expiratória.

Na análise bivariada entre a pressão inspiratória estática máxima e o nível motor da lesão, ocorreu um aumento do coeficiente de determinação simples (r^2) após a transformação logarítmica. A possível explicação desse incremento do r^2 provavelmente se deve pela inervação dos músculos inspiratórios pelas raízes cervicais, enquanto a dos músculos expiratórios está localizada na região toracolombar. Mesmo assim, na regressão linear múltipla, os melhores coeficientes de determinação ajustados obtidos

foram aqueles que consideraram o grupo do nível da lesão medular, provavelmente pela menor dispersão entre os níveis da lesão motora. Acreditamos que o nível motor da lesão é a variável clínica que melhor se correlaciona com a função pulmonar dos indivíduos com lesão medular traumática, tanto para os parâmetros espirométricos^{62;63;77} como para as pressões respiratórias estáticas máximas.

A extensão da lesão medular, classificada pela escala da *American Spinal Injury Association* (ASIA), como lesão motora completa (A e B) e incompleta (C e D), foi uma variável independente, exclusiva, para pressão expiratória estática máxima. Na lesão medular traumática incompleta, existe função motora voluntária, abaixo do nível da lesão. Cabe aqui o mesmo raciocínio anteriormente exposto para explicar o incremento do coeficiente de determinação com a transformada logarítmica na pressão inspiratória estática máxima. Frequentemente, nesses casos, os mais beneficiados são os músculos expiratórios e não os inspiratórios por razões anatômicas.⁸⁰

A Tabela 20 expressa o resumo dos principais estudos que geraram equações de previsão das pressões respiratórias máximas com base em populações híidas. De maneira geral, podemos constatar que o gênero e a idade são duas importantes variáveis independentes. Como a seleção da amostra estudada foi de conveniência, a ausência da idade na participação do presente modelo da regressão linear múltipla, pode ser um viés. Vale ressaltar que a lesão medular traumática é mais prevalente nos indivíduos jovens, o que dificultaria a seleção de uma faixa etária mais ampla, no ambiente hospitalar.²

Surpreendentemente, a presença de história de tabagismo participou do modelo de regressão linear múltipla, como fator positivo na pressão inspiratória estática máxima. A significância persistiu na equação em quatro das cinco formas em que a variável foi apreciada. Apesar dessa aparente contradição, encontramos um estudo que

Tabela 20 – Sumário dos principais estudos publicados sobre equações de previsão das pressões respiratórias estáticas máximas.

Autor, ano	N	Bocal	Escape (mm)	Tempo de oclusão (s)	R ² PIMáx	R ² PEMáx	Variáveis independentes	Nº. teste	Coefficiente de variação (%)
Ringqvist, 1966 ³³	200	Rígido	2 x 37	1	0,448	0,518	Gênero e idade	20 a 30	6
Black and Hyatt, 1967 ³¹	120	Rígido	2 x 15	1	NI	NI	Gênero e idade	2	9
Gaultier and Zinman, 1983 ¹²²	119	Rígido	1,5 x 38	1 a 2	0,291	0,436	PIMáx=gênero, PEMáx=gênero e idade	2	NI
Wilson <i>et al.</i> , 1984 ¹²³	135 adultos e 235 crianças	Flange	Não informa o diâmetro	1	0,108	0,356	Adultos: idade e estatura Criança: idade e peso	3	PIMáx=10,2 PEMáx= 7,1
Berry, 1996 ¹²⁴	101	NI	1,65	1	NI	NI	Gênero e idade	10	NI
Camelo, 1985 ¹²⁵	60	Bocal circular de borracha	2 x 15	1	NI	NI	Gênero e idade	4	NI
Vincken, Ghezso, and Cosio, 1987 ¹²⁶	106	Flange	Agulha 18	1	0,350	0,350	Idade, estatura, peso e peso relativo	4	NI
Rochester, 1988 ²⁸	NI	Rígido	Utilizou - não informa o calibre	NI	NI	NI	Gênero	NI	25
McElvaney <i>et al.</i> , 1989 ¹²⁷	104	Rígido	0,6	1	NI	NI	Gênero	3 com 5% variação	9
Enright <i>et al.</i> , 1994 ¹²⁸	5201	Rígido	1	2	0,080	0,180	Gênero, idade, peso e estatura	3 a 5% variação	10
Johan, 1997 ¹²⁹	221	Flange	Utilizou - não informa o calibre	1	0,164	0,176	Idade, estatura, peso	3	PIMáx=8,7 PEMáx 7,3
Harik-Khan <i>et al.</i> , 1998 ¹¹⁹	668	Rígido	1 x 1	2	0,310	NI	Gênero, idade, peso estatura	5	10

Todas as aferições foram registradas na capacidade pulmonar total e volume residual, para PIMáx e PEMáx, respectivamente.

N= número de participantes em cada estudo; NI – não informado; R² – coeficiente de determinação da regressão linear múltipla, *ajustado, considerado o maior coeficiente, nos casos dos estudos que geraram mais de um modelo e Nº teste – número de testes conduzidos para aferição das pressões respiratórias estáticas máximas.

Tabela 20 – Continuação do sumário dos principais estudos publicados sobre equações de previsão das pressões respiratórias estáticas máximas.

Autor, ano	N	Bocal	Escape (mm)	Tempo de oclusão (s)	R² PIMáx	R² PEMáx	Variáveis independentes	Nº. teste	Coefficiente de variação (%)
McConnell and Copestake, 1999 ¹²⁷	41	<i>Flange</i>	Utilizou - não informa o calibre	1	0,520	0,553	Gênero, idade, estatura e peso	20	11
Neder, 1999 ¹³⁰	100	<i>Flange</i>	Utilizou - não informa o calibre	1	0,460*	0,480*	Gênero e idade	3 a 5	10
Hautmann, 2000 ¹²⁰	504	Rígido	1,8 x 40	2	0,093	NI	Gênero, IMC e idade	7	NI
Presente estudo	131	Rígido	2,0 x 40	1	0,436*	0,504*	PIMáx=nível da lesão, gênero, peso e tabagismo. PEMáx= grupo, gênero e ASIA completo ou incompleto	4	PIMáx=11,6 PEMáx=12,3

Todas as aferições foram registradas na capacidade pulmonar total e volume residual, para PIMáx e PEMáx, respectivamente.

N= número de participantes em cada estudo; NI – não informado; R² – coeficiente de determinação da regressão linear múltipla, *ajustado, considerado o maior coeficiente, nos casos dos estudos que geraram mais de um modelo e Nº teste – número de testes conduzidos para aferição das pressões respiratórias estáticas máximas.

observou um discreto aumento das pressões inspiratórias máximas em tabagistas, paradoxalmente, com redução da *endurance* dos músculos inspiratórios.¹³¹ Ao analisarmos o percentual do previsto da capacidade inspiratória nos tetraplégicos, observamos melhor desempenho naqueles com história de tabagismo, $P < 0,045$. Baydur *et al* também encontraram melhor performance da capacidade inspiratória nos tetraplégicos tabagistas e atribuíram à redução dos volumes pulmonares e às microatelectasias associadas a fatores mecânicos das vias aéreas.⁶² Além do estudo anterior, foram localizados mais cinco artigos que analisaram a função pulmonar de pacientes tetraplégicos e compararam os fumantes e não-fumantes. Dentre esses, três não encontraram diferenças^{63;132;133}, enquanto os dois restantes constataram melhora da capacidade vital forçada nos fumantes em relação aos não-fumantes.^{77;110} A explicação dos autores, de modo geral, recaiu sobre o viés de seleção dos participantes aliado à restrição pulmonar presente nos tetraplégicos.

Um conjunto de fatores ligados tanto ao hábito de fumar como à lesão medular cervical pode contribuir, a princípio, para melhora da função dos músculos inspiratórios, provavelmente pela carga de trabalho gerada pelo aumento da resistência das vias aéreas. Nesse sentido, contamos com aumento do tônus brônquico por mediação parassimpática,^{70;72;73} hiper-reatividade da via aérea,¹³⁴ aumento da produção de secreção brônquica e conseqüentemente estímulo à tosse.^{135;136} O distúrbio ventilatório obstrutivo não foi constatado nesta investigação, provavelmente, por não ser facilmente detectável à luz da espirometria.^{70;72;73} Outro fator diz respeito à restrição pulmonar, que, por ser de maior magnitude nos tetraplégicos, aliado ao discreto aumento do trabalho respiratório pode repercutir com melhora da capacidade inspiratória, motivo pelo qual não foi observado nos paraplégicos. Outra hipótese é a implicação de um viés, talvez, os indivíduos com a função pulmonar em melhores condições optem mais ao tabagismo em

relação aos que, no passado tiveram algum episódio de alteração respiratória. O último grupo, provavelmente, seja mais estimulado a não fumar. Por último, vale destacar que os pacientes tetraplégicos investigados são jovens, com idade média de 32 anos. Assim, as reais repercussões do tabagismo a longo prazo, em tese, não puderam ser detectadas. Para melhor explicar o efeito do tabagismo na função pulmonar desses pacientes, sugere-se a condução de estudos de coorte.

O peso corporal aferido foi considerado como variável independente, para pressão inspiratória máxima. Apesar do peso não ser o melhor critério de avaliação do estado nutricional, podemos utilizá-lo junto com a estatura por meio do índice de massa corpórea (IMC).¹³⁷ Nos indivíduos com lesão medular traumática, principalmente, na fase aguda, a redução do peso e conseqüentemente do índice de massa corpórea é freqüente.¹³⁸ Testamos o índice de massa corpórea no modelo de regressão múltipla, e como não houve melhora expressiva no coeficiente de determinação ajustado, decidimos por permanecer com o peso observado. Essa variável é de fácil obtenção e, normalmente, insensível às perdas ponderais. Na Tabela 20, encontramos quatro equações que contemplaram o peso aferido como variável dependente das pressões respiratórias estáticas máximas.

A estatura foi mensurada através da envergadura, por três motivos: pela praticidade, pela incapacidade dos pacientes com lesão medular assumirem a posição ortostática, e por último, pela presença de deformidades. Na presente investigação a variável estatura não participou da equação. A discreta variação da envergadura entre os grupos talvez seja uma das explicações. Nos modelos conduzidos com indivíduos hígidos, a “estatura” participou em menos de 30% da equações. Provavelmente não deve ser uma boa variável explanatória para as pressões respiratórias estáticas máximas (Tabela 20).

A escala de avaliação de espasticidade (Ashworth) não foi criada especificamente para os pacientes com lesão medular traumática.¹¹⁵ No entanto, é amplamente utilizada nessa população, por sua praticidade para categorizar a hipertonia dos membros.¹¹⁶ Nos casos de discordância do grau de espasticidade entre os membros superiores e inferiores, prevaleceu o primeiro. A razão dessa decisão foi pela possibilidade de maior interferência da espasticidade nos membros superiores sobre a musculatura respiratória, durante os esforços respiratórios, e também por desconhecermos outra escala que contempla os músculos do tronco. A variável “espasticidade” foi significativa apenas na análise de correlação simples com a pressão expiratória máxima. Essa variável foi analisada de três formas: como ordinal, dicotômica simples e, por último, como dicotômica múltipla. Apesar das várias formas de análises, a “espasticidade” não foi significativa nos modelos de regressão linear múltipla.

O tempo médio de evolução da lesão medular foi de aproximadamente dois anos, com mediana de um ano. Na análise de regressão linear simples e múltipla, essa variável (tempo de lesão) não apresentou significância. Como a seleção dos pacientes foi realizada em um hospital de referência, não podemos afastar um possível viés da amostra.

Como exposto na seção dos resultados, não incluímos na nossa análise a variável “etnia”. A principal causa foi a dificuldade para classificar os participantes, acreditamos que, no Brasil, esse desafio é maior pela miscigenação. Em um estudo conduzido com três populações da Ásia (malásios, indianos e chineses) a variável “etnia” participou como independente, porém o maior coeficiente de determinação foi baixo ($R^2=0,176$).¹²⁹

A história de complicação pulmonar após a lesão foi analisada como dicotômica simples, presente ou ausente. Antecipadamente, na análise bivariada essa variável não apresentou significância, logo não participou das equações de previsão.

A variável independente “nível da lesão medular” foi testada de maneira diferente, de acordo com a etapa de interesse da análise, regressão linear simples e múltipla. Nos casos de discrepância do nível entre os dimídios, na primeira análise utilizamos o nível medular mais elevado, enquanto na segunda, regressão linear múltipla, consideramos o valor médio. A justificativa é puramente técnica. No primeiro caso, por praticidade na confecção gráfica e da equação da reta, já que a variável em questão (nível da lesão) estava sendo considerada como ordinal. Na segunda, essa mesma variável foi considerada como contínua pelo fato de aproximar o modelo da realidade. Ainda, a variável “nível da lesão” também foi testada como dicotômica simples, tetraplégicos e paraplégicos. Finalmente, dividida em subgrupos, tetraplégicos alto (C4-C5), baixo (C6-C8) e paraplégicos alto (T1-T6) e baixo (T7-L3). Na equação multivariada o maior coeficiente foi o “grupo nível da lesão”. Por critérios estatísticos, poder-se-ia empregar no modelo qualquer uma das formas, pela evidência do comportamento linear do nível de lesão em relação às pressões respiratórias máximas.

A lesão medular traumática, na dependência do nível acometido, compromete, em grau variável, os músculos respiratórios. A propedêutica de avaliação funcional pulmonar nesses pacientes tem sido tradicionalmente baseada na espirometria, embora as medidas das pressões respiratórias estáticas máximas sejam tão ou mais importantes. No entanto, apenas 35 estudos se aprofundaram sobre essa última avaliação. Assim, nosso laboratório percebeu a necessidade de um maior aprofundamento sobre as pressões respiratórias estáticas máximas, quando passamos a avaliá-las, sistematicamente, a partir de um protocolo de fácil execução, reprodutível e

baseado nas evidências da literatura, em pacientes com lesão medular traumática de níveis diversos. A partir dessa experiência, detectamos a necessidade do desenvolvimento de uma equação específica para essa população, para otimizar a interpretação da função pulmonar. A fase inicial constou de uma análise de regressão simples, exploratória, da nossa atual casuística. Apesar da simplicidade, a primeira análise contribuiu para o amadurecimento da construção da regressão linear múltipla e também pode ser utilizada na prática clínica.

Toda metodologia aqui empregada foi baseada na vivência cotidiana do nosso laboratório com pacientes portadores de lesão medular traumática, aliada a uma análise crítica das informações disponíveis na literatura.²⁵ Com base nesses aspectos, escolhemos a equação de referência de Crapo¹¹² para espirometria pela necessidade de comparação com outras investigações em pacientes com lesão medular traumática, apesar de não considerar a população brasileira. Para as pressões respiratórias estáticas máximas optamos por Black e Hyatt,³¹ não só por se tratar de uma publicação clássica mas, principalmente, por terem empregado metodologia muito próxima daquela adotada por nós. Assim, cabem algumas considerações sobre as razões que nos levaram a optar pelo tipo de bocal, magnitude do escape, momento e tempo de esforço, número de testes e resultado a ser considerado.

Na literatura, existem várias de técnicas de condução para aferição das pressões respiratórias estáticas máximas. De maneira geral, na escolha da melhor metodologia a ser adotada no nosso laboratório, partimos de dois pressupostos: aplicabilidade e reprodutibilidade. Nesse sentido, o bocal rígido foi escolhido pelo fato de ser o mais apropriado na população em geral,³² bem como para pacientes com lesão medular.⁶⁴ Quanto ao tubo conectado ao bocal, escolhemos um escape de 2 mm de diâmetro interno, com 40 mm de comprimento, por melhor minimizar os efeitos

indesejáveis da pressão gerada pelos músculos da face, além de impedir o fechamento da glote durante o esforço.^{33;34} Optamos por adotar a capacidade pulmonar total e o volume residual para as manobras forçadas expiratórias e inspiratórias, respectivamente, por configurarem pontos do ciclo respiratório de mais fácil detecção, portanto mais reproduzível em relação à capacidade residual funcional.²⁸ Para efeito de análise, considerou-se o pico de pressão imediatamente após o primeiro segundo do início do esforço, por ser o mais reproduzível²⁵ e por minimizar interferências potenciais relacionadas com a espasticidade estimulada pelo esforço em pacientes tetraplégicos.⁵² Por último, optamos por conduzir um mínimo de quatro esforços inspiratórios e expiratórios. Apesar da recomendação dos especialistas em repetir o teste cinco vezes,²⁶ a decisão ocorreu principalmente pelas importantes limitações físicas dos tetraplégicos. Mesmo assim, não existiu a tendência no incremento da pressão em relação à repetição do teste, exclusivamente, no grupo dos pacientes tetraplégicos. Por último, o coeficiente de variação foi próximo aos melhores valores exibidos pela literatura, conforme demonstra a Tabela 20.

O impacto negativo da lesão medular foi maior sobre a pressão expiratória máxima, fenômeno já registrado na literatura.⁹⁴ Também foi observada uma melhor correlação dessa com o exato nível da lesão, questão ainda não explorada. Esses fenômenos podem ter uma justificativa comum, possivelmente relacionada com a segmentação nervosa dos músculos respiratórios, sinergismo entre eles, bem como algumas questões metodológicas. O principal músculo inspiratório é o diafragma, innervado pelas raízes de C3-C5, razão pela qual encontramos um menor comprometimento da pressão inspiratória máxima naqueles pacientes com lesão abaixo do nível T1. Por outro lado, os principais músculos expiratórios são os abdominais, cuja segmentação envolve os níveis T6-L1, embora inúmeros outros músculos também

participem da expiração ativa.¹¹ Essa particularidade pode justificar por que todos os subgrupos de pacientes, invariavelmente, exibiram uma pressão expiratória máxima média abaixo de 80% do previsto e, ao mesmo tempo, apresentaram uma melhor correlação com o exato nível da lesão. Não devemos esquecer que a eficiência mecânica do diafragma depende do posicionamento e da estabilidade torácica, promovidos pelos músculos abdominais e intercostais. Pelo exposto, devemos considerar que, na análise de correlação, atribuímos arbitrariamente, um valor unitário a cada nível da lesão. Reconhecemos que essa foi uma aproximação grosseira, já que, muito provavelmente, a real contribuição de cada nível medular deve ser diferente, principalmente para inspiração. Porém, a atribuição do valor unitário para cada nível tem uma implicação prática, na correta interpretação das pressões respiratórias máximas. Por último, não devemos esquecer que inúmeros outros fatores podem estar contribuindo para esses resultados, particularmente as diferentes propriedades viscoelásticas do sistema respiratório, na dependência dos volumes pulmonares.²⁵

Exemplificando a aplicação dos resultados da presente investigação, imaginemos um cenário em que um homem de 26 anos, com lesão medular de nível C6 por projétil de arma de fogo, ASIA A, sem passado de tabagismo, peso aferido de 70 kg, envergadura de 1,80 m, apresentou uma pressão inspiratória máxima de 52 cmH₂O. Segundo a equação de Black e Hyatt, esse valor deveria ser de 129 cmH₂O, ou seja, como esperado, temos um déficit da força inspiratória de 40%. Porém, com base na equação da regressão linear simples, esse percentual deveria ser de 63%. Outra abordagem mais interessante é a comparação com os valores teóricos, obtidos pelo modelo da análise de regressão múltipla, baseado nos indivíduos com lesão medular. Nesse sentido, o valor previsto é de 85 cmH₂O e o paciente apresentou 61% do valor esperado, logo está dentro do limite inferior. Caso o paciente estivesse abaixo do limite

inferior, teríamos uma situação na qual o nível da lesão *per se* não justificaria a fraqueza muscular inspiratória. Assim, outros eventos clínicos associados devem ser considerados, como, por exemplo, lesão do nervo frênico ou siringomielia.

6. Conclusão

Podemos assim concluir que, entre os pacientes com lesão medular traumática, observou-se uma possível restrição pulmonar, principalmente entre os tetraplégicos, com normalidade nos paraplégicos baixos. A partir do exame espirométrico, não detectamos distúrbio ventilatório obstrutivo nos pacientes estudados.

A partir de uma metodologia facilmente executável, de aferição das pressões respiratórias estáticas máximas, constatamos uma importante redução da pressão expiratória estática máxima nos pacientes portadores de lesão medular, sendo a disfunção maior naqueles com lesão cervical. Já a pressão inspiratória estática máxima apresentou-se reduzida somente no grupo de pacientes tetraplégicos, com base na equação para indivíduos hígidos.³¹ Observou uma forte correlação entre os valores médios dos percentuais dos previstos das pressões respiratórias máximas com o nível motor da lesão dos pacientes com lesão completa.

Finalizando, através da análise de regressão linear múltipla das pressões respiratórias máximas constatamos como variável independente o “gênero” e o “nível motor da lesão”, esta última confirma os achados da regressão linear simples. Para pressão inspiratória máxima, contamos ainda com o peso e a história de tabagismo. No caso da expiratória, também a extensão da lesão.

Com base no modelo de regressão múltipla obtido pela presente investigação, a participação das variáveis clínicas, “nível” e “extensão da lesão”, como independentes, configuram uma importante contribuição na antecipação da função

pulmonar em pacientes com lesão medular traumática. Doravante, acreditamos que as pressões respiratórias estáticas máximas obtidas nessa população poderão ser melhor interpretadas, além das diferenças inerentes ao sexo e idade.³¹ Dada a utilidade prática dessas informações, futuros estudos deverão validar as equações geradas pela análise de regressão linear múltipla em outras populações de pacientes com lesão medular traumática, expandindo sua aplicabilidade clínica.

7. Bibliografia

- (1) Jackson AB, Dijkers M, DeVivo MJ, Pocztatek RB. A demographic profile of new traumatic spinal cord injuries: change and stability over 30 years. *Arch Phys Med Rehabil* 2004; 85(11):1740-1748.
- (2) Wyndaele M, Wyndaele JJ. Incidence, prevalence and epidemiology of spinal cord injury: what learns a worldwide literature survey? *Spinal Cord* 2006; 44(9):523-9.
- (3) Sekhon LH, Fehlings MG. Epidemiology, demographics, and pathophysiology of acute spinal cord injury. *Spine* 2001; 26(24 Suppl):S2-12.
- (4) Campos da Paz A, Jr., Beraldo PSS, Almeida MCRR, Neves EGC, Alves F, Khan P. Traumatic injury to the spinal cord. Prevalence in Brazilian hospitals. *Paraplegia* 1992; 30:636-640.
- (5) Chiles BW, III, Cooper PR. Acute spinal injury. *N Engl J Med* 1996; 334(8):514-520.
- (6) Hughes JT. The Edwin Smith surgical papyrus: An analysis of the first case reports of spinal cord injuries. *Paraplegia* 1988; 26:71-82.
- (7) Maynard FM, Jr., Bracken MB, Creasey G, Ditunno JF, Jr., Donovan WH, Ducker TB *et al.* International Standards for Neurological and Functional Classification of Spinal Cord Injury. American Spinal Injury Association. *Spinal Cord* 1997; 35(5):266-274.
- (8) McDonald JW, Sadowsky C. Spinal-cord injury. *Lancet* 2002; 359(9304):417-425.
- (9) Aito S. Complications during the acute phase of traumatic spinal cord lesions. *Spinal Cord* 2003; 41(11):629-635.
- (10) Soden RJ, Walsh J, Middleton JW, Craven ML, Rutkowski SB, Yeo JD. Causes of death after spinal cord injury. *Spinal Cord* 2000; 38(10):604-610.
- (11) De Troyer A., Estenne M. Functional anatomy of the respiratory muscles. *Clin Chest Med* 1988; 9(2):175-193.
- (12) Edwards RHT, Faulkner JA. Structure and function of the respiratory muscles. In: Roussos C, editor. *The thorax*. 2nd ed. Athens, Greece: Marcel Dekker, Inc; 1995. 185-212.
- (13) Derenne JP, Macklem PT, Roussos C. The respiratory muscles: mechanics, control, and pathophysiology. *Am Rev Respir Dis* 1978; 118(1):119-133.
- (14) Minh VD, Dolan GF, Konopka RF, Moser KM. Effect of hyperinflation on inspiratory function of the diaphragm. *Journal of Applied Physiology* 1976; 40(1):67-73.

- (15) De Troyer A. Effect of hyperinflation on the diafragm. *Eur Respir J* 1997; 10:708-713.
- (16) Macklem PT, Macklem DM, De Troyer A. A model of inspiratory muscle mechanics. *J Appl Physiol* 1983; 55(2):547-557.
- (17) De Troyer A, Kelly S, Macklem PT, Zin WA. Mechanics of intercostal space and actions of external and internal intercostal muscles. *J Clin Invest* 1985; 75(3):850-857.
- (18) De Troyer A, Legrand A, Gevenois PA, Wilson TA. Mechanical advantage of the human parasternal intercostal and triangularis sterni muscles. *J Physiol* 1998; 513(Pt 3):915-925.
- (19) Kapandji AI. *Fisiologia articular: tronco e coluna vertebral*. 5ª edição ed. São Paulo: Médica Panamericana; 2000.
- (20) De Troyer A, Estenne M, Heilporn A. Mechanism of active expiration in tetraplegic subjects. *N Engl J Med* 1986; 314(12):740-744.
- (21) Pereira CAC. Espirometria. *J Pneumol* 28[Supl 3], 2-82. 2002.
- (22) Crapo RO. Pulmonary-function testing. *N Engl J Med* 1994; 331(1):25-30.
- (23) Standardization of Spirometry, 1994 Update. American Thoracic Society. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 152:1107-1136.
- (24) Zach MS. The physiology of forced expiration. *Paediatr Respir Rev* 2000; 1(1):36-39.
- (25) Anonymous. ATS/ERS Statement on Respiratory Muscle Testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166(4):518-624.
- (26) Souza RB. Pressões respiratória estáticas máximas. *J Pneumol* 2002; 28(3):S155-S165.
- (27) West JB. *Respiratory Physiology - the essentials*. 4 ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1990.
- (28) Rochester DF. Tests of respiratory muscle function. *Clin Chest Med* 1988; 9(2):249-261.
- (29) De Troyer A, Borenstein S, Cordier R. Analysis of lung volume restriction in patients with respiratory muscle weakness. *Thorax* 1980; 35(8):603-610.
- (30) Braun NM, Arora NS, Rochester DF. Respiratory muscle and pulmonary function in polymyositis and other proximal myopathies. *Thorax* 1983; 38(8):616-623.
- (31) Black LF, Hyatt RE. Maximal respiratory pressures: normal values and relationship to age and sex. *Am Rev Respir Dis* 1969; 99:696-702.

- (32) Koulouris N, Mulvey DA, Laroche CM, Green M, Moxham J. Comparison of two different mouthpieces for the measurement of Pimax and Pemax in normal and weak subjects. *Eur Respir J* 1988; 1(9):863-867.
- (33) Ringqvist T. The ventilatory capacity in healthy subjects. An analysis of causal factors with special reference to the respiratory forces. *Scand J Clin Lab Invest Suppl* 1966; 88:5-179.
- (34) Mayos M, Giner J, Casan P, Sanchis J. Measurement of maximal static respiratory pressures at the mouth with different air leaks. *Chest* 1991; 100(2):364-366.
- (35) Fiz JA, Carreres A, Rosell A, Montserrat JM, Ruiz J, Morera JM. Measurement of maximal expiratory pressure: effect of holding the lips. *Thorax* 1992; 47(11):961-963.
- (36) Windisch W, Hennings E, Sorichter S, Hamm H, Crie CP. Peak or plateau maximal inspiratory mouth pressure: which is best? *Eur Respir J* 2004; 23(5):708-713.
- (37) Smyth RJ, Chapman KR, Rebeck AS. Maximal inspiratory and expiratory pressures in adolescents. Normal values. *Chest* 1984; 86(4):568-572.
- (38) Zakyntinos SPYR, Vassilakopoulos THEO, Mavrommatis ANTO, Roussos CHAR, Tzelepis GEOR. Effects of Different Expiratory Maneuvers on Inspiratory Muscle Force Output. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 159(3):892.
- (39) Tzelepis GEOR, Zakyntinos SPYR, Vassilakopoulos THEO, Gereoulanos STEP, Roussos CHAR. Inspiratory Maneuver Effects on Peak Expiratory Flow . Role of Lung Elastic Recoil and Expiratory Pressure. *Am J Respir Crit Care Med* 1997; 156(5):1399-1404.
- (40) Roth EJ, Lu A, Primack S, Oken J, Nussham S, Berkowitz M *et al*. Ventilatory function in cervical and high thoracic spinal cord injury. Relationship to level of injury and tone. *Am J Phys Med Rehabil* 1997; 76(4):262-267.
- (41) De Troyer A. Respiration mechanics in tetraplegia. *Bull Mem Acad R Med Belg* 1997; 152(1):91-97.
- (42) Schilero GJ, Grimm D, Lesser M. Comparison of lung volume measurements in individuals with spinal cord injury by two different methods. *J Spinal Cord Med* 2004; 27(5):443-447.
- (43) McMichan JC, Michel L, Westbrook PR. Pulmonary dysfunction following traumatic quadriplegia. Recognition, prevention, and treatment. *JAMA* 1980; 243(6):528-531.
- (44) Jackson AB, Groomes TE. Incidence of respiratory complications following spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 1994; 75(3):270-275.
- (45) Silver JR, Gibbon NO. Prognosis in tetraplegia. *Br Med J* 1968; 12(4):79-83.

- (46) Claxton AR, Wong DT, Chung F, Fehlings MG. Predictors of hospital mortality and mechanical ventilation in patients with cervical spinal cord injury. *Can J Anaesth* 1998; 45(2):144-149.
- (47) Fernandes MC. Prevalência de sinais, sintomas e fatores de risco de complicações respiratórias em pacientes internados com lesão medular traumática no Hospital SARAH/Brasília. Centro SARAH de Formação e Pesquisa. Programa de pós-graduação. Mestrado em Ciências da Reabilitação; 2000.
- (48) Bach JR, Hunt D, Horton JA, III. Traumatic tetraplegia: noninvasive respiratory management in the acute setting. *Am J Phys Med Rehabil* 2002; 81(10):792-797.
- (49) Estenne M, De Troyer A. The effects of tetraplegia on chest wall statics. *Am Rev Respir Dis* 1986; 134(1):121-124.
- (50) Winslow C, Rozovsky J. Effect of spinal cord injury on the respiratory system. *Am J Phys Med Rehabil* 2003; 82(10):803-814.
- (51) De Troyer A, Estenne M, Vincken W. Rib cage motion and muscle use in high tetraplegics. *Am Rev Respir Dis* 1986; 133(6):1115-1119.
- (52) De Troyer A, Heilporn A. Respiratory mechanics in quadriplegia. The respiratory function of the intercostal muscles. *Am Rev Respir Dis* 1980; 122(4):591-600.
- (53) De Troyer A, Estenne M. Coordination between rib cage muscles and diaphragm during quiet breathing in humans. *J Appl Physiol* 1984; 57(3):899-906.
- (54) Danon J, Druz WS, Goldberg NB, Sharp JT. Function of the isolated paced diaphragm and the cervical accessory muscles in C1 quadriplegics. *Am Rev Respir Dis* 1979; 119(6):909-919.
- (55) Estenne M, Knoop C, Vanvaerenbergh J, Heilporn A, De Troyer A. The effect of pectoralis muscle training in tetraplegic subjects. *Am Rev Respir Dis* 1989; 139(5):1218-1222.
- (56) Estenne M, De Troyer A. Cough in tetraplegic subjects: an active process. *Ann Intern Med* 1990; 112(1):22-28.
- (57) Mansel JK, Norman JR. Respiratory complications and management of spinal cord injuries. *Chest* 1990; 97:1446-1452.
- (58) DeVivo MJ, Kartus PL, Stover SL, Rutt RD, Fine PR. Cause of death for patients with spinal cord injuries. *Arch Intern Med* 1989; 149(8):1761-1766.
- (59) DeVivo MJ, Black KJ, Stover SL. Causes of death during the first 12 years after spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 1993; 74(3):248-254.
- (60) DeVivo MJ, Krause JS, Lammertse DP. Recent trends in mortality and causes of death among persons with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 1999; 80(11):1411-1419.

- (61) Spungen AM, Grimm DR, Lesser M, Bauman WA, Almenoff PL. Self-reported prevalence of pulmonary symptoms in subjects with spinal cord injury. *Spinal Cord* 1997; 35:652-657.
- (62) Baydur A, Adkins RH, Milic-Emili J. Lung mechanics in individuals with spinal cord injury: effects of injury level and posture. *J Appl Physiol* 2001; 90(2):405-411.
- (63) Linn WS, Spungen AM, Gong H, Jr., Adkins RH, Bauman WA, Waters RL. Forced vital capacity in two large outpatient populations with chronic spinal cord injury. *Spinal Cord* 2001; 39(5):263-268.
- (64) Tully K, Koke K, Garshick E, Lieberman SI, Tun CG, Brown R. Maximal expiratory pressures in spinal cord injury using two mouthpieces. *Chest* 1997; 112(1):113-116.
- (65) Uijl SG, Houtman S, Folgering HT, Hopman MT. Training of the respiratory muscles in individuals with tetraplegia. *Spinal Cord* 1999; 37(8):575-579.
- (66) Eleftheriades JA, Quin JA, Hogan JF, Holcomb WG, Letsou GV, Chlosta WF *et al.* Long-term follow-up of pacing of the conditioned diaphragm in quadriplegia. *Pacing Clin Electrophysiol* 2002; 25(6):897-906.
- (67) Kollef MH. The Prevention of Ventilator-Associated Pneumonia. *N Engl J Med* 1999; 340(8):627-634.
- (68) Yeo JD, Walsh J, Rutkowski S, Soden R, Craven M, Middleton J. Mortality following spinal cord injury. *Spinal Cord* 1998; 36(5):329-336.
- (69) Almenoff PL, Alexander LR, Spungen AM, Lesser MD, Bauman WA. Bronchodilatory effects of ipratropium bromide in patients with tetraplegia. *Paraplegia* 1995; 33(5):274-277.
- (70) Schilero GJ, Grimm DR, Bauman WA, Lenner R, Lesser M. Assessment of airway caliber and bronchodilator responsiveness in subjects with spinal cord injury. *Chest* 2005; 127(1):149-155.
- (71) Evans RL, Hendricks RD, Connis RT, Haselkorn JK, Ries KR, Mennet TE. Quality of life after spinal cord injury: a literature critique and meta-analysis (1983-1992). *J Am Paraplegia Soc* 1994; 17(2):60-66.
- (72) Schilero GJ, Grimm D, Spungen AM, Lenner R, Lesser M. Bronchodilator responses to metaproterenol sulfate among subjects with spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev* 2004; 41(1):59-64.
- (73) Mateus SR, Beraldo PS, Horan TA. Cholinergic bronchomotor tone and airway caliber in tetraplegic patients. *Spinal Cord* 2006; 44:269-74.
- (74) Ashba J, Garshick E, Tun CG, Lieberman SI, Polakoff DF, Blanchard JD *et al.* Spirometry-acceptability and reproducibility in spinal cord injured subjects. *J Am Paraplegia Soc* 1993; 16(4):197-203.

- (75) Kelley A, Garshick E, Gross ER, Lieberman SL, Tun CG, Brown R. Spirometry Testing Standards in Spinal Cord Injury. *Chest* 2003; 123(3):725.
- (76) Loughheed MD, Flannery J, Webb KA, O'Donnell DE. Respiratory Sensation and Ventilatory Mechanics during Induced Bronchoconstriction in Spontaneously Breathing Low Cervical Quadriplegia. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166(3):370-376.
- (77) Linn WS, Adkins RH, Gong HJ, Waters RL. Pulmonary function in chronic spinal cord injury: a cross-sectional survey of 222 southern California adult outpatients. *Arch Phys Med Rehabil* 2000; 81(6):757-763.
- (78) Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia. I Consenso de espirometria. *J. bras. pneumol.* 1996; 22(3):105-164.
- (79) Wanger J, Clausen JL, Coates A, Pedersen OF, Brusasco V, Burgos F *et al.* Standardisation of the measurement of lung volumes. *Eur Respir J* 2005; 26(3):511-522.
- (80) Beraldo PSS. Função Pulmonar na Lesão Medular Traumática Alta. In: Tavares P, editor. *Atualizações em Fisiologia-Respiração*. 1.ed ed. Rio de Janeiro-RJ: Editora Cultura Médica Ltda; 1991. 73-85.
- (81) Gounden P. Static respiratory pressures in patients with post-traumatic tetraplegia. *Spinal Cord* 1997; 35(1):43-47.
- (82) Goldman JM, Rose LS, Williams SJ, Silver JR, Denison DM. Effect of abdominal binders on breathing in tetraplegic patients. *Thorax* 1986; 41(12):940-945.
- (83) Laven GT, Huang CT, DeVivo MJ, Stover SL, Kuhlemeier KV, Fine PR. Nutritional status during the acute stage of spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 1989; 70(4):277-282.
- (84) Flavell H, Mashall R, Thornton AT, Clements PL, Antic R, MecEvoy RD. Hypoxia episodes during sleep in high tetraplegia. *Arch Phys Med Rehabil* 1992; 73:623-627.
- (85) Derrickson J, Ciesla N, Simpson N, Imle PC. A comparison of two breathing exercise programs for patients with quadriplegia. *Phys Ther* 1992; 72(11):763-769.
- (86) Linder SH. Functional electrical stimulation to enhance cough in quadriplegia. *Chest* 1993; 103(1):166-169.
- (87) Roth EJ, Nussbaum SB, Berkowitz M, Primack S, Oken J, Powley S *et al.* Pulmonary function testing in spinal cord injury: correlation with vital capacity. *Paraplegia* 1995; 33(8):454-457.
- (88) Hopman MT, van der Woude LH, Dallmeijer AJ, Snoek G, Folgering HT. Respiratory muscle strength and endurance in individuals with tetraplegia. *Spinal Cord* 1997; 35(2):104-108.

- (89) Segal JL, Brunnemann SR. 4-Aminopyridine improves pulmonary function in quadriplegic humans with longstanding spinal cord injury. *Pharmacotherapy* 1997; 17(3):415-423.
- (90) Lin KH, Wu HD, Chang CW, Wang TG, Wang YH. Ventilatory and mouth occlusion pressure responses to hypercapnia in chronic tetraplegia. *Arch Phys Med Rehabil* 1998; 79(7):795-799.
- (91) Lin VW, Singh H, Chitkara RK, Perkash I. Functional magnetic stimulation for restoring cough in patients with tetraplegia. *Arch Phys Med Rehabil* 1998; 79(5):517-522.
- (92) Rutchik A, Weissman AR, Almenoff PL, Spungen AM, Bauman WA, Grimm DR. Resistive inspiratory muscle training in subjects with chronic cervical spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 1998; 79(3):293-297.
- (93) Klefbeck B, Sternhag M, Weinberg J, Levi R, Hultling C, Borg J. Obstructive sleep apneas in relation to severity of cervical spinal cord injury. *Spinal Cord* 1998; 36:621-628.
- (94) Fujiwara T, Hara Y, Chino N. Expiratory function in complete tetraplegics: study of spirometry, maximal expiratory pressure, and muscle activity of pectoralis major and latissimus dorsi muscles. *Am J Phys Med Rehabil* 1999; 78(5):464-469.
- (95) Spungen AM, Grimm DR, Strakhan BS, Pizzolato PM, Bauman WA. Treatment with an anabolic agent is associated with improvement in respiratory function in persons with tetraplegia: A pilot study. *Mt Sinai J Med.* 1999; 66(3):201-205.
- (96) Wien MF, Garshick E, Tun CG, Lieberman SI, Kelley A, Brown R. Breathlessness and exercise in spinal cord injury. *J Spinal Cord Med* 1999; 22(4):297-302.
- (97) Segal JL, Pathak MS, Hernandez JP, Himer PL, Brunnemann SR, Charter RS. Safety and efficacy of 4-aminopyridine in humans with spinal cord injury: a long-term, controlled trial. *Pharmacotherapy* 1999; 19(6):713-723.
- (98) Gorini M, Corrado A, Aito S, Ginanni R, Villella G, Lucchesi G *et al.* Ventilatory and respiratory muscle responses to hypercapnia in patients with paraplegia. *Am J Respir Crit Care Med* 2000; 162(1):203-208.
- (99) Liaw MY, Lin MC, Cheng PT, Wong MK, Tang FT. Resistive inspiratory muscle training: its effectiveness in patients with acute complete cervical cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 2000; 81(6):752-756.
- (100) van der Schans CP, Piers DA, Mulder GA. Efficacy of coughing in tetraplegic patients. *Spine* 2000; 25(17):2200-2203.
- (101) Andrada L, De Vito EL. Functional respiratory evaluation in patients with high traumatic spinal injury. *Medicina (B Aires)* 2001; 61(5 Pt 1):529-534.

- (102) Wang TG, Wang YH, Tang FT, Lin KH, Lien IN. Resistive inspiratory muscle training in sleep-disordered breathing of traumatic tetraplegia. *Arch Phys Med Rehabil* 2002; 83(4):491-496.
- (103) Cruzada D, Jones MJ, Segebart S, McDonough J. Resistive inspiratory muscle training improves inspiratory muscle strength in subjects with cervical spinal cord injury. *NEUROL REP* 2002; 26(1):3-7.
- (104) Boaventura CM, Gastaldi AC, Silveira JM, Santos PR, Guimaaes RC, De Lima LC. Effect of an Abdominal Binder on the Efficacy of Respiratory Muscles in Seated and Supine Tetraplegic Patients. *Physiotherapy* 2003; 89(5):290-295.
- (105) Boaventura CM, Silveira JM, Santos PR, Gastaldi AC. Respiratory muscle strength the tetraplegic patients. *Rev Fisioter Univ São Paulo* 2004; 11(2):70-6.
- (106) Kang SW, Shin JC, Park CI, Moon JH, Rha DW, Cho DH. Relationship between inspiratory muscle strength and cough capacity in cervical spinal cord injured patients. *Spinal Cord* 2005; .
- (107) Grandas NF, Jain NB, Denckla JB, Brown R, Tun CG, Gallagher ME *et al.* Dyspnea during daily activities in chronic spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 2005; 86(8):1631-1635.
- (108) Hart N, Laffont I, de la Sota AP, Lejaille M, Macadou G, Polkey MI *et al.* Respiratory effects of combined truncal and abdominal support in patients with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 2005; 86(7):1447-1451.
- (109) Cheng PT, Chen CL, Wang CM, Chung CY. Effect of neuromuscular electrical stimulation on cough capacity and pulmonary function in patients with acute cervical cord injury. *J Rehabil Med* 2006; 38(1):32-36.
- (110) Jain NB, Brown R, Tun CG, Gagnon D, Garshick E. Determinants of Forced Expiratory Volume in 1 Second (FEV(1)), Forced Vital Capacity (FVC), and FEV(1)/FVC in Chronic Spinal Cord Injury. *Arch Phys Med Rehabil* 2006; 87(10):1327-1333.
- (111) Conselho Nacional de Saúde. Resolução N° 196/96 sobre pesquisa envolvendo seres humanos. *Informe Epidemiol SUS* 1996; 5(2-Supl 3):13-41.
- (112) Crapo RO, Morris AH, Gardner RM. Reference spirometric values using techniques and equipment that meet ATS recommendations. *Am Rev Respir Dis* 1981; 123:659-664.
- (113) American Thoracic Society. Lung function testing: Selection of reference values and interpretative strategies. *Am Rev Respir Dis* 1991; 144:1202-1218.
- (114) Knoben JE, Anderson PO. *Handbook of clinical drug data*. 7 ed. Hamilton, Ill: 1993.
- (115) Ashworth B. Preliminary trial of carisoprodol in multiple sclerosis. *Practitioner* 1964; 192:540-542.

- (116) Biering-Sorensen F, Nielsen JB, Klinge K. Spasticity-assessment: a review. *Spinal Cord* 2006; .
- (117) Uniform requirements for manuscripts submitted to biomedical journals. International Committee of Medical Journal Editors. *N Engl J Med* 1997; 336(4):309-315.
- (118) Katz MH. *Multivariable analysis: a practical guide for clinicians*. New York: Cambridge University press; 1999.
- (119) Harik-Khan RI, Wise RA, Fozard JL. Determinants of maximal inspiratory pressure. The Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158(5 Pt 1):1459-1464.
- (120) Hautmann H, Hefele S, Schotten K, Huber RM. Maximal inspiratory mouth pressures (PIMAX) in healthy subjects--what is the lower limit of normal? *Respir Med* 2000; 94(7):689-693.
- (121) Katz MH. Summary: Steps for constructing a multivariable model. *Multivariable analysis. A practical guide for clinicians*. 1999. 187-188.
- (122) Gaultier C, Zinman R. Maximal static pressures in healthy children. *Respir Physiol* 1983; 51(1):45-61.
- (123) Wilson SH, Cooke NT, Edwards RH, Spiro SG. Predicted normal values for maximal respiratory pressures in caucasian adults and children. *Thorax* 1984; 39(7):535-538.
- (124) Berry JK, Vitalo CA, Larson JL, Patel M, Kim MJ. Respiratory muscle strength in older adults. *Nurs Res* 1996; 45(3):154-159.
- (125) Camelo JS, Jr., Terra Filho J, Manço JC. Pressões respiratórias máximas em adultos normais. *Jornal Pneumologia* 1985; 11(4):181-184.
- (126) Vincken W, Ghezze H, Cosio MG. Maximal static respiratory pressures in adults: normal values and their relationship to determinants of respiratory function. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1987; 23(5):435-439.
- (127) McConnell AK, Copestake AJ. Maximum static respiratory pressures in healthy elderly men and women: issues of reproducibility and interpretation. *Respiration* 1999; 66(3):251-258.
- (128) Enright PL, Kronmal RA, Manolio TA, Schenker MB, Hyatt RE. Respiratory muscle strength in the elderly. Correlates and reference values. Cardiovascular Health Study Research Group. *Am J Respir Crit Care Med* 1994; 149(2 Pt 1):430-438.
- (129) Johan A, Chan CC, Chia HP, Chan OY, Wang YT. Maximal respiratory pressures in adult Chinese, Malays and Indians. *Eur Respir J* 1997; 10(12):2825-2828.

- (130) Neder JA, Andreoni S, Lerario MC, Nery LE. Reference values for lung function tests. II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. *Braz J Med Biol Res* 1999; 32(6):719-727.
- (131) Chen HI. Effects of chronic smoking on respiratory muscle function. *Chin J Physiol* 1988; 31(1):53-62.
- (132) Almenoff PL, Spungen AM, Lesser M, Bauman WA. Pulmonary function survey in spinal cord injury: Influences of Smoking and level and completeness of injury. *Lung* 1995; 173:297-306.
- (133) Tow AM, Graves DE, Carter RE. Vital capacity in tetraplegics twenty years and beyond. *Spinal Cord* 2001; 39(3):139-144.
- (134) DeLuca RV, Grimm DR, Lesser M, Bauman WA, Almenoff PL. Effects of a B2-agonist on airway hyperreactivity in subjects with cervical spinal cord injury. *Chest* 1999; 115:1533-1538.
- (135) Lin KH, Lai YL, Wu HD, Wang TQ, Wang YH. Cough threshold in people with spinal cord injuries. *Phys Ther* 1999; 79(11):1026-1031.
- (136) McGarvey LP, Morice AH. Clinical cough and its mechanisms. *Respir Physiol Neurobiol* 2006; 152(3):363-371.
- (137) Vannucchi H, Unamuno MRDL, Marchini JS. Avaliação do estado nutricional. *Revista Medicina* 29, 5-18. 1996.
- (138) Laven GT, Huang CT, DeVivo MJ, Stover SL, Kuhlemeier KV, Fine PR. Nutritional status during the acute stage of spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 1989; 70(4):277-282.

8. Anexos

Anexo A

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, _____, concordo em participar como voluntário de pesquisa, a ser realizada no Hospital SARAH/Centro, sob a responsabilidade do fisioterapeuta Sergio Ricardo Menezes Mateus e do Dr. Paulo S.S. Beraldo.

Estou ciente de que:

- a pesquisa visa avaliar a função pulmonar de indivíduos que sofreram lesão na medula espinhal;
- os exames não são invasivos e, portanto, isentos de riscos para minha saúde;
- os teste são realizados através de sopros, por um tudo conectado à boca;
- deverei responder algumas perguntas em relação à minha saúde e passado de doenças;
- os resultados desta pesquisa não influenciarão meu tratamento;
- poderei retirar-me do estudo em qualquer momento que desejar.

Ao participar como voluntário deste projeto, estou consciente de que não terei direito a nenhum benefício adicional por parte dos pesquisadores envolvidos e desta Instituição.

Brasília, ____ de _____ de 2005

Voluntário ou responsável

Testemunha

Anexo B

Equação de previsão³¹ e os limites inferiores das pressões respiratórias estáticas máximas.

Gênero	PIMáx		PEMáx	
	Equação (cmH ₂ O)	Limite inferior de normalidade†	Equação (cmH ₂ O)	Limite inferior de normalidade†
Masculino	143 – (0.55 x idade*)	71	268 – (1.03 x idade)	111
Feminino	104 – (0.51 x idade)	39	170 – (0.53 x idade)	88

* Limites da idade = 20 a 86 anos; † independentemente da idade; PIMáx – pressão inspiratória máxima e PEMáx – pressão expiratória máxima.

Anexo C

Tabela – Valores médios (\pm) desvio-padrão da espirometria forçada.

Parâmetros da função pulmonar *	Tetraplégicos (n)		Paraplégicos (n)		Combinado (131)
	C3-C5 (30)	C6-C8 (22)	T1-T6 (32)	T7-L3 (47)	
CVF(L)					
Observado (L)	2,17 \pm 0,96	3,21 \pm 1,15	3,28 \pm 0,86	3,90 \pm 0,90	3,23 \pm 1,14
% do Previsto	48,96 \pm 25,07	62,90 \pm 19,04	70,35 \pm 14,54	83,70 \pm 14,97	68,99 \pm 22,49
VEF₁(L)					
Observado (L)	1,91 \pm 0,72	2,88 \pm 0,95	2,89 \pm 0,77	3,38 \pm 0,74	2,84 \pm 0,95
% do Previsto	55,20 \pm 23,56	72,32 \pm 19,84	76,74 \pm 16,83	91,72 \pm 16,63	76,44 \pm 23,33
VEF₁/CVF%					
Observado (%)	90,89 \pm 8,37	90,77 \pm 5,40	88,51 \pm 9,61	86,92 \pm 7,88	88,87 \pm 8,20
PFE (L/s)					
Observado	4,25 \pm 1,46	6,26 \pm 2,28	6,63 \pm 1,55	7,91 \pm 2,09	6,48 \pm 2,34
% do Previsto	51,75 \pm 17,04	69,29 \pm 21,33	77,28 \pm 15,30	92,85 \pm 19,04	75,41 \pm 24,16
FEF_{25%}(L/s)					
Observado	4,08 \pm 1,33	5,99 \pm 2,25	6,03 \pm 1,68	7,05 \pm 1,81	5,92 \pm 2,06
% do Previsto	56,65 \pm 17,94	75,68 \pm 25,37	81,28 \pm 20,17	95,61 \pm 20,47	79,46 \pm 25,15
FEF_{50%}(L/s)					
Observado	2,79 \pm 0,83	4,15 \pm 1,49	4,27 \pm 1,56	4,55 \pm 1,50	3,99 \pm 1,53
% do Previsto	58,42 \pm 16,96	80,54 \pm 25,47	84,81 \pm 27,66	91,94 \pm 26,66	80,25 \pm 27,58
FEF_{75%}(L/s)					
Observado	1,18 \pm 0,47	1,99 \pm 1,03	1,97 \pm 1,00	1,82 \pm 1,00	1,74 \pm 0,95
% do Previsto	55,91 \pm 22,14	81,76 \pm 37,76	84,04 \pm 38,90	79,40 \pm 39,30	74,92 \pm 37,36

* CVF - Capacidade vital forçada em litros; VEF₁ - Volume expiratório forçado no primeiro segundo em litros; VEF₁/CVF% - Razão entre volume expiratório forçado no primeiro segundo e a capacidade vital forçada; PFE – Pico de fluxo expiratório, FEF_x% - Fluxo expiratório forçado em uma porcentagem de volume da CVF; % do Previsto – Percentual do previsto, com base na equação de previsão.¹¹²

Anexo D

Tabela - Média e desvio-padrão (DP) das pressões inspiratórias estáticas máximas em cmH₂O da seqüência dos quatro testes. A última coluna corresponde ao coeficiente de variação (CV) médio calculado para todos os pacientes e os respectivos subgrupos.

Grupo	Teste 1		Teste 2		Teste 3		Teste 4		CV
	média	DP	média	DP	média	DP	média	DP	média
C3-C5	48,53	24,53	51,77	28,91	53,70	28,72	53,53	28,22	9,05
C6-C8	74,18	31,40	79,05	32,77	80,36	35,93	83,32	36,28	10,44
T1-T6	76,63	30,67	84,91	31,84	85,50	29,70	86,38	27,70	12,59
T7-L3	82,34	33,25	85,72	31,68	93,04	35,04	97,36	33,63	13,07
Combinado	71,83	32,88	76,63	33,87	80,06	35,58	82,28	35,36	11,59

Anexo E

Tabela - Média e desvio-padrão (DP) das pressões expiratórias estáticas máximas em cmH₂O da seqüência dos quatro testes. A última coluna corresponde ao coeficiente de variação (CV) médio calculado para todos os pacientes e os respectivos subgrupos.

Grupo	Teste 1		Teste 2		Teste 3		Teste 4		CV
	média	DP	média	DP	média	DP	média	DP	média
C3-C5	31,73	22,22	33,60	23,28	34,20	25,31	36,77	28,32	12,99
C6-C8	47,68	21,43	52,73	26,03	54,73	26,50	57,41	31,06	11,86
T1-T6	60,34	23,22	64,22	22,84	66,38	25,28	68,97	25,14	12,63
T7-L3	84,43	29,51	89,60	28,53	92,06	34,32	97,47	30,91	11,89
Combinado	60,31	32,35	64,38	33,38	66,27	36,41	69,88	37,12	12,32

Anexo F

Tabela - Análise descritiva das variáveis contínuas, dependentes e independentes.

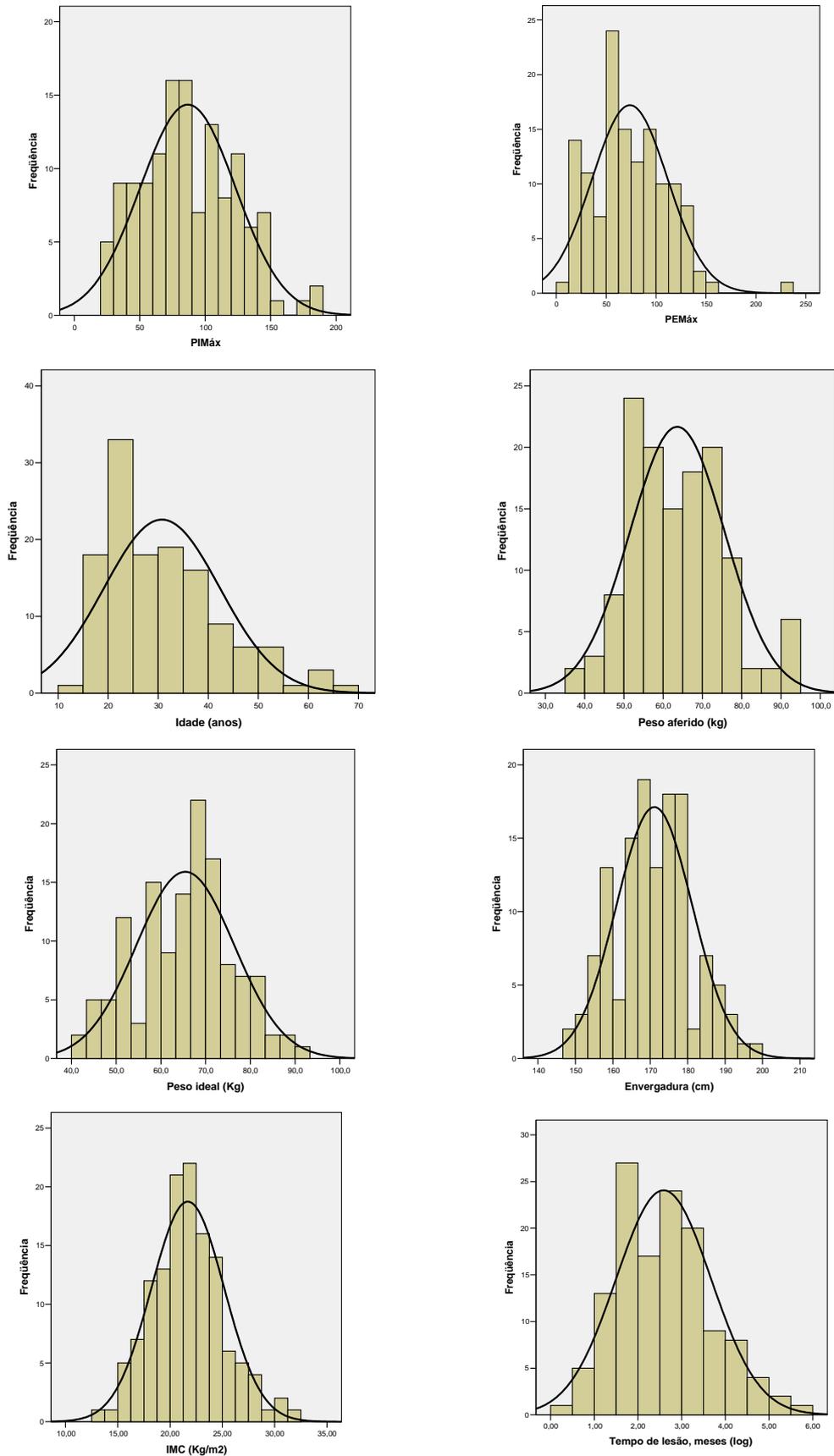
Variáveis contínuas	Menor valor	Maior valor	Média	1º quartil	Mediana	3º quartil	P valor†
PIMáx, cmH ₂ O	22,0	190,0	86,8	60,5	84,0	115,3	0,738
PEMáx, cmH ₂ O	12,0	227,0	73,7	47,0	70,0	99,0	0,704
Idade, anos	13,0	70,0	30,7	21,0	29,0	38,0	0,055
Peso, Kg	37,5	94,0	63,6	54,3	62,7	72,0	0,463
Peso ideal, Kg	41,0	91,5	65,5	57,4	66,9	73,3	0,207
Envergadura, cm	148,0	198,0	171,1	164,0	172,0	178,0	0,852
IMC*, Kg/m ²	13,22	31,8	21,7	19,3	21,6	23,8	0,947
Tempo de lesão, meses	1,1	271,3	25,0	5,4	12,8	26,9	< 0,001
Tempo de lesão (Log), meses	0,10	5,60	2,59	1,69	2,56	3,29	0,576

*IMC – índice de massa corpórea

†Teste de *Kolmogorov-Smirnov*

Anexo G

Figura - Gráficos das distribuições das frequências das variáveis contínuas, dependentes e potencialmente independentes.



Anexo H

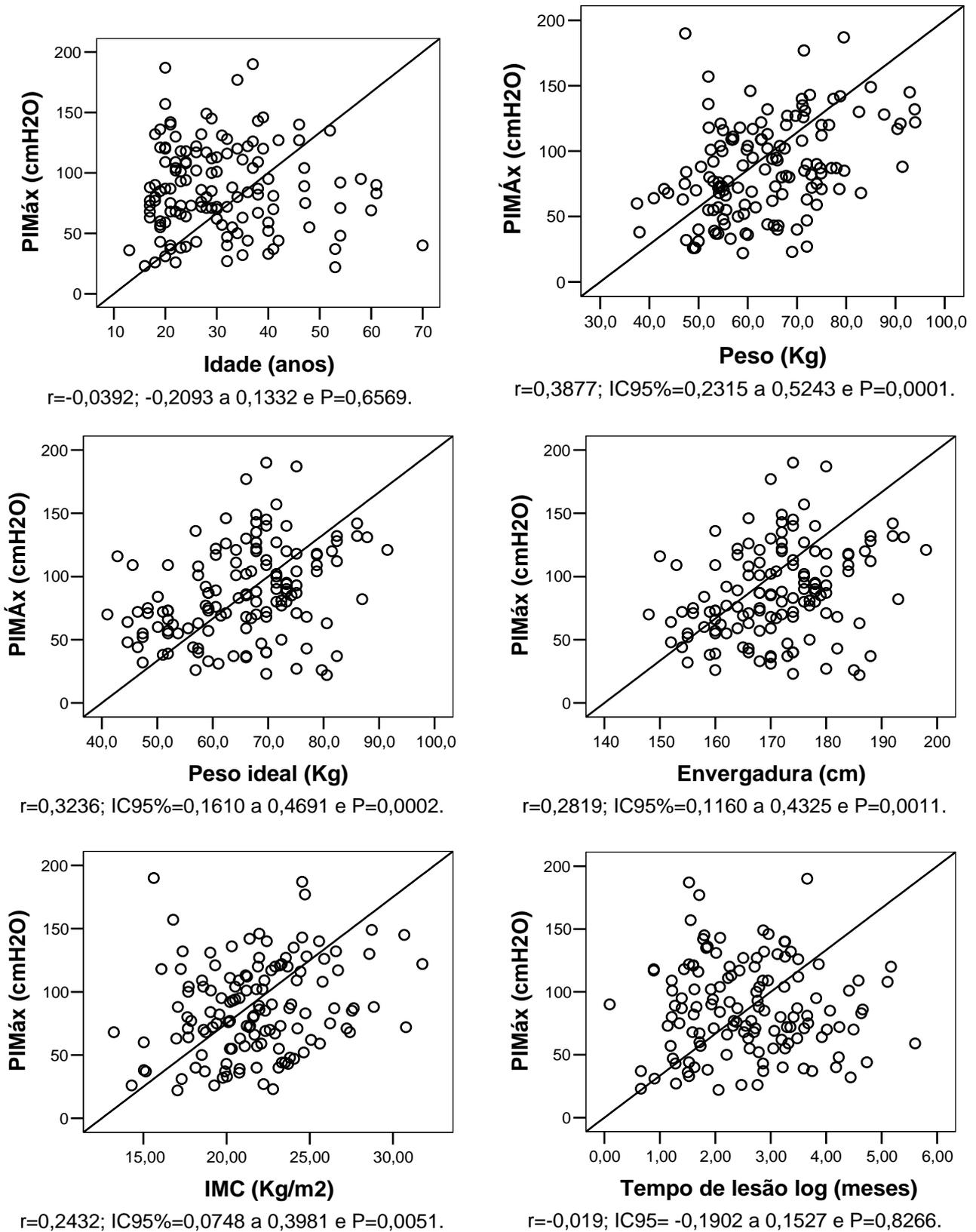
Tabela - Análise de correlação entre a pressão inspiratória estática máxima e as variáveis contínuas.

Variáveis contínuas	Linear				Logarítmica
	r	r ²	IC95%	P	r ²
Idade, anos	-0,039	0,00170	-0,2093 a 0,1332	0,65690	0,00002
Peso, Kg	0,388	0,14880	0,2315 a 0,5243	0,00010	0,14200
Peso ideal, Kg	0,324	0,09700	0,1610 a 0,4691	0,00020	0,09720
Envergadura, cm	0,282	0,07340	0,1160 a 0,4325	0,00110	0,07370
IMC, Kg/m ²	0,243	0,06170	0,0748 a 0,3981	0,00510	0,05820
Nível da lesão	0,398	0,15840	0,2427 a 0,5329	0,0001	0,19880
Tempo de lesão, meses	-0,057	0,00270	-0,2265 a 0,1155	0,51650	0,00020
Tempo de lesão (Log), meses	-0,019	0,00037	-0,1902 a 0,1527	0,8266	-

r= coeficiente de correlação; r²=coeficiente de determinação simples e IC95%= intervalo de confiança de 95%.

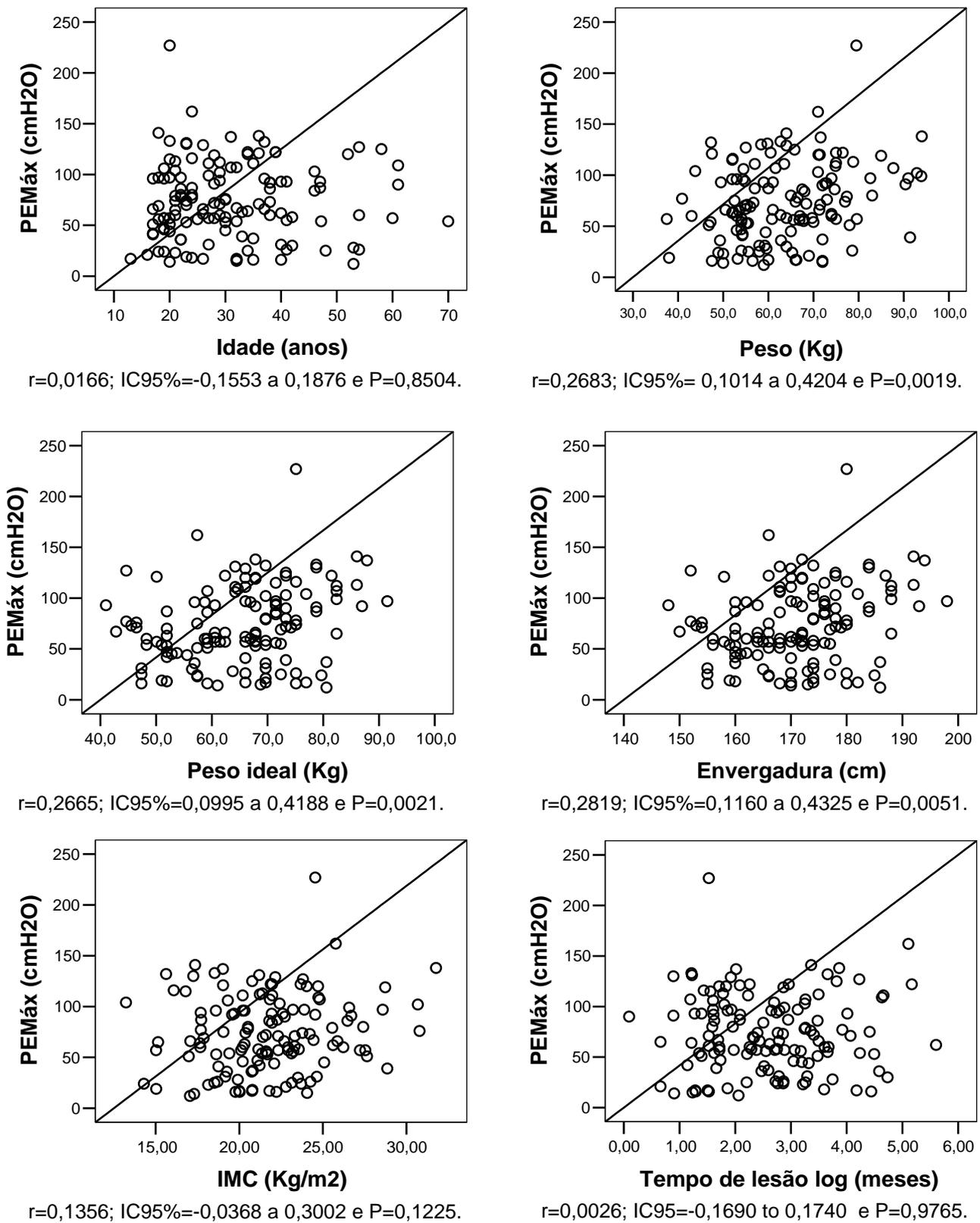
Anexo I

Figura - Gráfico da dispersão entre a pressão inspiratória estática máxima, variável dependente e a potencial independente contínua.



Anexo J

Figura - Gráfico da dispersão entre a pressão expiratória estática máxima, variável dependente e a potencial independente contínua.



Anexo L

Tabela – Análise de correlação entre a pressão expiratória estática máxima e as variáveis contínuas.

Variáveis contínuas	Linear				Logarítmica
	r	r ²	IC95%	P	R ²
Idade, anos	0,017	0,00020	-0,1553 a 0,1876	0,85040	0,00090
Peso, Kg	0,268	0,07020	0,1014 a 0,4204	0,00190	0,06570
Peso ideal, Kg	0,267	0,06710	0,0995 a 0,4188	0,00210	0,06010
Envergadura, cm	0,251	0,05940	0,0825 a 0,4046	0,00390	0,05700
IMC, Kg/m ²	0,136	0,01860	-0,0368 to 0,3002	0,12250	0,01550
Nível da lesão	0,610	0,37210	0,4902 to 0,7078	0,00010	0,38350
Tempo de lesão, meses	0,060	0,00400	-0,1124 a 0,2294	0,49400	0,00006
Tempo de lesão (Log), meses	0,003		-0,1690 a 0,1740	0,9765	-

r= coeficiente de correlação; r²=coeficiente de determinação simples e IC95%= intervalo de confiança de 95%.

Original Article

Maximal static mouth respiratory pressure in spinal cord injured patients: correlation with motor level

SRM Mateus¹, PSS Beraldo*¹ and TA Horan¹

¹SARAH Network of Hospitals for Rehabilitation, SARAH University, and University of Brasília, Post Graduate Medical Sciences, Brasília, Brazil

Study design: Transversal.

Objectives: The few studies concerning maximal static mouth respiratory pressures in patients with spinal cord lesions suggest a marked reduction. We studied the correlation of these parameters with the motor level of injury.

Setting: Rehabilitation Center, Brasília/DF, Brazil.

Methods: One hundred and thirty-one patients with traumatic spinal cord injury (C4–L3) were recruited. The participants were assessed by standard spirometry and maximal static mouth respiratory pressure.

Results: Forced vital capacity was most reduced in tetraplegics (subgroup C4–C5, 49% ± 25 predicted) and increase successively for each descending subgroup (C6–C8, 61% ± 22 predicted; T1–T6, 70% ± 15 predicted), becoming normal in low paraplegia (T7–L3, 84% ± 15 predicted). There is no evidence of an obstructive disturbance throughout all groups. The lowest average percent predicted of maximal static inspiratory pressure (MIP) was in the subgroup C4–C5 (50% ± 23). The average percent predicted of maximal static expiratory pressure (MEP) improved from 19% ± 14 in the C4–C5 subgroup to 51% ± 19 for T7–L3 subgroup. The average percent predicted of all participants for MIP was 74% ± 30 and for MEP was 37% ± 21. In patients with complete motor lesion, the correlation with the level of injury was stronger for MEP ($r=0.81$, $P<0.0001$; $r^2=0.65$) than for MIP ($r=0.62$, $P=0.004$; $r^2=0.38$). No correlation was found among incomplete motor lesion patients.

Conclusions: The linear regression equations for the relationship of percent predicted MIP or MEP to level of injury are applicable only to complete motor lesions and may be useful to establish normative association between them.

Spinal Cord advance online publication, 28 November 2006; doi:10.1038/sj.sc.3101998

Keywords: spinal cord injury; maximal respiratory pressures; lung function tests

Introduction

The high frequency of respiratory complications in patients with spinal cord lesions, especially those with tetraplegia,¹ clearly contributes to their morbidity and mortality rates.^{2,3} The most important pulmonary function change is a nonparenchymatous pulmonary restriction,^{4,5} owing to weakness or paralysis of respiratory muscles.^{6,7}

Maximal static mouth respiratory pressures are used in the evaluation of respiratory muscle strength.⁸ Studies in patients with spinal cord lesions are infrequent, but

point to a reduction over wide range in these parameters. These reports, however, have not attempted to correlate the reduction in pressures with the motor level of the spinal cord lesion.^{6,9–11} The aim of this study is to measure the maximal static respiratory pressures, expressed as percentage of predicted, in patients with spinal cord injury, correlated with the motor level of the injury. We hope, thereby, to improve interpretation of the pulmonary dysfunction in these patients.

Materials and methods

Subjects

We certify that all applicable institutional and governmental regulations concerning the ethical use of human volunteers were followed during the course of this

*Correspondence: PSS Beraldo, SARAH Network, SARAH University, Quadra 501 SMHS, Asa Sul, Brasília, DF 70335-901, Brazil
All work was performed at Centro Sarah de Formação e Pesquisa, Rede Sarah de Hospitais de Reabilitação – SARAH BRASÍLIA, SMHS Qd 301 Bloco B N 45 2ª andar, CEP 70335-901, Brasília, DF, Brazil

research. The hospital's ethics committee reviewed and approved the study. The investigation was fully explained to and formal written consent obtained from each participant. All patients were drawn from the spinal cord injury rehabilitation program of Hospital Sarah, Brasilia. From August 2003 to February 2005, 131 otherwise healthy patients with traumatic spinal cord injury were recruited for study.

All study subjects were clinically stable and without prior history of pulmonary or other neurological disease. None of the selected participants required the use of a cervical orthosis or body jacket for postural stability at the time of testing.

The level and severity of the lesion was defined by physical examination in accordance with the criteria of the *American Spinal Injury Association (ASIA)*.¹² The patients showed lesions from C4 to L3. The 52 patients with tetraplegia (39.7%) were divided into two subgroups by the level of the motor lesion, upper (30 patients, C4–C5) and lower (22 patients, C6–C8). The 79 patients with paraplegia (60.3%) were similarly divided into two subgroups, upper (32 patients, T1–T6) and lower (47 patients, T7–L3) thoracolumbar spinal cord injury.

Prevalence of current or former smokers was 32.1% (CI95%, 24.2–40.8) without difference between groups and subgroups. Gender, ASIA, age, weight, height, and time since injury, also showed no differences between the groups and subgroups (Table 1).

Procedures

A single investigator (SRMM) conducted all spirometry and maximal static respiratory pressure tests, in that sequence, during the afternoon, in the respiratory function laboratory of the institution. All participants were tested seated in their own wheelchairs and, if the case, without abdominal binder. A standard nose clip was used for the examinations.

The forced spirometry (Master Screen, Erich Jaeger GmbH, Hoechberg, Germany) was obtained observing the criteria of American Thoracic Society (ATS).¹³ Crapo's¹⁴ equation was adopted for predicted values. In some individuals, reproducible efforts were deemed acceptable despite back-extrapolated volumes in excess of standard limits and/or despite forced expiratory times lasting less than 6 s, as has been previously validated for subjects with cervical spinal cord injury.¹⁵ Immediately following spirometry, the participants were instructed in the procedures and were acquainted with the equipment (DataSpir 120D, Sibelmed, Barcelona, Spain) for maximal static mouth respiratory pressures measurement. Because of possible learning effect, a set of at least four successive measurements for each technique, maximal static inspiratory pressure (MIP) and maximal static expiratory pressure (MEP), were obtained from subjects in a random sequence of the set. The highest value of each maneuver was used. The patient effort and occlusion time of the system, during the measurement, was a minimum of 2 s. For quality control and

Table 1 Patient characteristics^a

	Tetraplegia		Paraplegia		All N = 131 (100)
	C4–C5 N = 30 (22.9)	C6–C8 N = 22 (16.8)	T1–T6 N = 32 (24.4)	T7–L3 N = 47 (35.9)	
<i>Gender</i>					
Female	9 (22.0)	4 (9.8)	12 (29.2)	16 (39.0)	41 (100)
Male	21 (23.4)	18 (20.0)	20 (22.2)	31 (34.4)	90 (100)
<i>ASIA</i> ^b					
A	18 (23.4)	11 (14.3)	22 (28.6)	26 (33.7)	77 (100)
B	3 (13.7)	5 (22.7)	5 (22.7)	9 (40.9)	22 (100)
C	6 (33.3)	4 (22.2)	1 (5.6)	7 (38.9)	18 (100)
D	3 (21.4)	2 (14.3)	4 (28.6)	5 (35.7)	14 (100)
<i>Smoking</i>					
Current	4 (25.0)	5 (31.3)	3 (18.7)	4 (25.0)	16 (100)
Former (at least for 2 years)	1 (3.8)	6 (23.1)	8 (30.8)	11 (42.3)	26 (100)
Never	25 (28.1)	11 (12.3)	21 (23.6)	32 (36.0)	89 (100)
<i>Anthropometric</i>					
Weight (kg)	59.9 ± 10.1	67.0 ± 11.8	64.2 ± 12.9	64.0 ± 12.0	63.6 ± 12.1
Size (cm)	170.0 ± 10.0	173.8 ± 7.6	169.9 ± 10.1	171.3 ± 11.3	171.1 ± 10.2
Age (years)	34.33 ± 14.2	28.73 ± 9.6	27.48 ± 9.1	31.64 ± 11.6	30.75 ± 11.6
<i>Duration since injury (months)</i>					
Average	24.0 ± 25.1	29.3 ± 55.6	23.3 ± 25.9	24.7 ± 39.4	25.0 ± 36.8
Range	1.9–97.8	1.9–271.3	3.9–113.7	1.1–175.6	1.1–271.3

^aAbsolute frequency (%) or mean ± SD where applicable

^bASIA, American Spinal Injury Association¹²

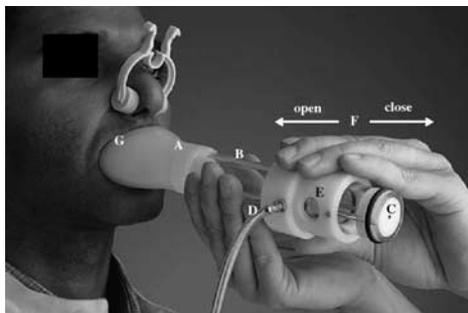


Figure 1 Details of the method for measurement of the maximum static respiratory pressures. The rigid mouth piece (A) is connected to a rigid 17 cm long transparent tube (B). At the distal end of B there is an orifice (C) 2 mm diameter by 4.0 mm long permitting air to escape. A flexible plastic tube is connected to a metal fitting on the side of the tube for the measurement of pressure (D). A 1.5-cm orifice that can be occluded by the sliding valve (E) is controlled by the technician (F). The technician is also responsible for maintaining the seal between the mouth piece and the lips and cheeks (G)

assurance, we applied Ringqvist's criteria.¹⁶ The patients could not see their efforts on the screen of the computer and therefore did not get visual feedback. However, they received verbal encouragement. The physical limitations of the patient were always respected allowing variable rest times between measurements as required.

All pressure measurements were conducted using a rigid tube style mouth piece (Figure 1A). This mouth piece was firmly connected to a nonflexible 17 cm long tube (Figure 1B). At the other end of this tube, there are three fittings: a 2 mm diameter by 40 mm long pressure relief port that avoids the closure of the glottis (Figure 1C); a flexible connector to the pressure transducer (Figure 1D; range 0–300 cmH₂O; resolution 1 cmH₂O; accuracy 3%; sample rate 100 Hz); and a sliding shutter valve (Figure 1E). Rigid adherence to the operational technical details was maintained throughout the study to insure comparable results. The sliding shutter valve must be closed during the apnea phase in the moment just before each forced inspiratory or expiratory command (Figure 1F) and the mouthpiece must be firmly sealed against the lips by the operator (Figure 1G).

Pressure was registered with the system occluded at total pulmonary capacity for MEP and at residual volume for MIP. The record of the peak pressure obtained after the first second following initiation of the forced maneuver and sustained for at least 1 s, was used for analysis. This single point was chosen by the computer software program (Figure 2). We adopted the estimates of Black and Hyatt¹⁷ for the predicted values of respiratory pressures (Appendix) because of their wide acceptance and similarity to our methodology. The spirometry equipment was calibrated at the beginning of each session using a three-litre syringe and the respiratory pressure apparatus using a water column, exactly following the manufacturer's recom-

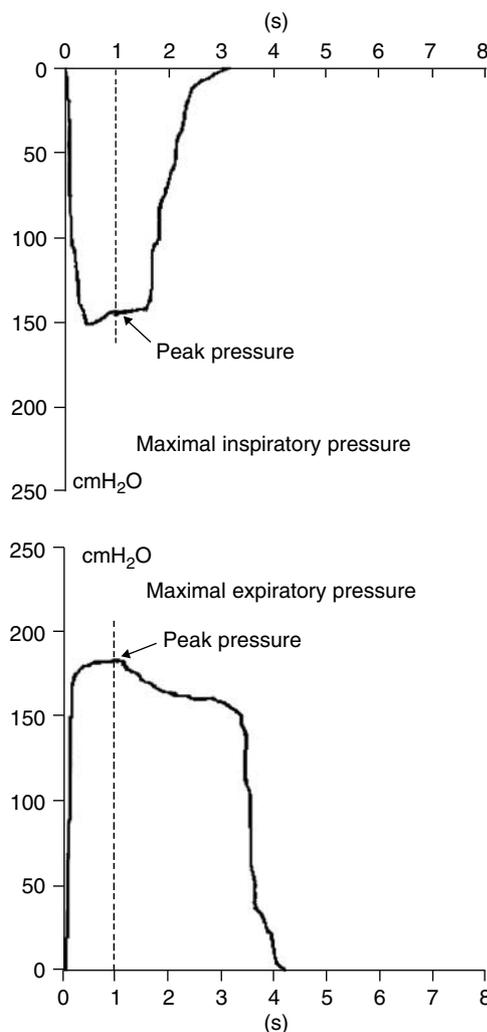


Figure 2 A typical pressure tracing from an able body subject performing a maximum static inspiratory and expiratory maneuver. The peak pressure (arrows) seen after the initial 1-s, chosen by the software, was considered for the analysis

mendations. Spirometry and static maximal pressures signals were recorded by the computer.

Statistical analysis

A comparative analysis was performed on paraplegics and tetraplegic groups and respective subgroups. Following the lead of other authors,^{4,5} relationships between MIP and MEP and injury level were assessed using simple regression analysis by assigning a corresponding numerical value between 1 and 23 to neurological levels C1 through L3. If the motor level of injury varied between sides, the highest one was considered for the analysis. Independent of ASIA classification, the number of participants at each motor level varied from 1 to 17. Average values were calculated for each level. This method was used to minimize bias related to the discrepancy in the number of observations

at each level. Thus, the correlative analysis consisted of different points representing the motor levels available for evaluation of MIP and MEP, analyzed also by completeness of the lesion (ASIA A/B and C/D).

Continuous variables were expressed as the average and standard deviation and analyzed by the Student's *t*-test and analysis of variance, complemented with Bonferroni correction (*post hoc*). For proportions comparisons, we utilized χ^2 test. The occurrence of a type I error was estimated by a *P*-value <0.05. All statistical analysis was conducted using SPSS (version 13).

Results

The percent predicted forced vital capacity (FVC) and forced expiratory volume in 1 s (FEV₁) differed among subgroups. The restrictive pulmonary pattern was most marked in high tetraplegia (C4–C5, FVC 49% ± 25 predicted) and lessened successively for each descending subgroup (C6–C8, 61% ± 22 predicted; T1–T6, 70% ± 15 predicted), becoming normal in low paraplegia (T7–L3, 84% ± 15 predicted) (Figure 3). The ratio FEV₁/FVC × 100 was normal (> 80%) and similar throughout all groups, showing no evidence of an obstructive disturbance (Table 2).

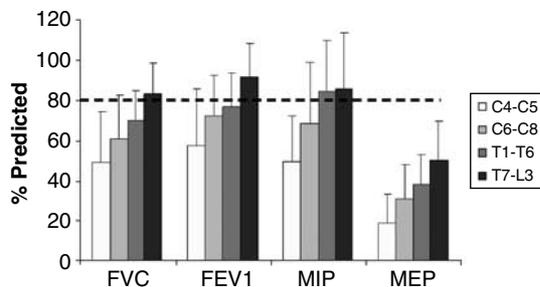


Figure 3 Average (±SD) percentage of predicted values for FVC, FEV₁, MIP, and MEP, for subgroups C4–C5, C6–C8, T1–T2, and T7–L3

The lowest average percent predicted MIP was in the subgroup C4–C5 (50% ± 23 predicted). In the other three subgroups, the average MIP was similar and greater than 69% predicted. The percent predicted MEP differed between subgroups (*P* < 0.001), improving from 19% ± 14 in the C4–C5 subgroup to 51% ± 19 for T7–L3

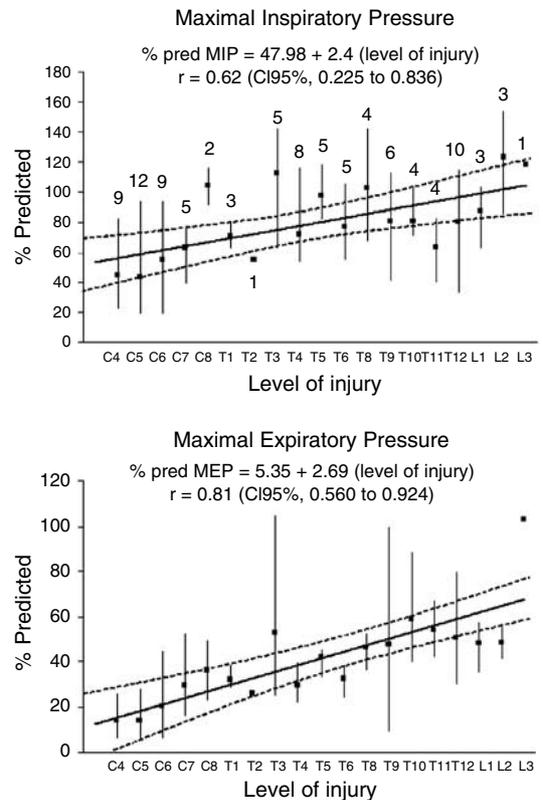


Figure 4 Simple linear regression, correlation coefficients (*r*), and the equations for the percent predicted of MIP (top) and MEP (bottom) and level of complete motor lesion. Vertical bars and numbers represent the range of values at each level and the number of subjects in both measurements. Broken line represents the 95% confidence interval limits

Table 2 Means and SD of spirometry parameters and maximal static respiratory pressures

	Tetraplegia		Paraplegia		All
	C4–C5 (N = 30)	C6–C8 (N = 22)	T1–T6 (N = 32)	T7–L3 (N = 47)	
<i>Pulmonary function test parameters^a</i>					(N = 131)
FVC (liters)	2.17 ± 0.96	3.10 ± 1.28	3.28 ± 0.86	3.90 ± 0.90	3.22 ± 1.16
%Predicted	48.96 ± 25.07	60.67 ± 22.06	70.35 ± 14.54	83.70 ± 14.97	68.62 ± 23.05
FEV ₁ (liters)	2.01 ± 1.01	2.88 ± 0.95	2.89 ± 0.77	3.44 ± 0.86	2.88 ± 1.03
%Predicted	57.60 ± 28.21	72.32 ± 19.84	76.74 ± 16.83	91.72 ± 16.63	76.99 ± 23.99
FEV ₁ /FVC ratio (%)	94.10 ± 19.58	90.77 ± 5.40	88.51 ± 9.61	88.95 ± 16.00	88.77 ± 8.20
MIP (cmH ₂ O)	55.67 ± 28.38	87.27 ± 35.73	94.84 ± 31.09	100.94 ± 33.51	86.79 ± 36.41
%Predicted	49.57 ± 23.09	68.49 ± 30.27	84.4 ± 25.41	85.98 ± 27.76	74.32 ± 30.25
MEP (cmH ₂ O)	39.43 ± 29.4	60.54 ± 30.03	73.22 ± 24.47	102.13 ± 32.26	73.72 ± 37.98
%Predicted	18.97 ± 14.44	30.86 ± 17.36	37.9 ± 15.23	50.57 ± 19.01	36.93 ± 20.66

^aFVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in 1 s; FEV₁/FVC%, ratio of FEV₁ to FVC; MIP, maximal inspiratory pressure; MEP, maximal expiratory pressure; %Predicted, percent of predicted values^{14,17}

subgroup (Figure 3). The average of the percent predicted of all participants for MIP was $74\% \pm 30$ and for MEP was $37\% \pm 21$ (Table 2).

Significant correlation was found only for complete motor lesion levels (ASIA A and B) and the average percent predicted of the maximal static respiratory pressures (99 patients, 19 points). The correlation for MEP ($r=0.81$, $P<0.0001$; $r^2=0.65$) was stronger than for MIP ($r=0.62$, $P=0.004$; $r^2=0.38$). Figure 4 presents these analyses with their respective equations. No correlation was found for MIP and MEP in incomplete motor lesion patients (32 participants).

Discussion

A group of selected traumatic spinal cord injured patients showed a clear range of restrictive ventilatory disturbance that varied dependent on the 21 different motor levels studied. The FVC change varied from a maximal impairment in the high cervical lesions (C4–C5) to complete normality in the low thoracolumbar lesions (T7–L3). Similarly, the average percent predicted of maximal static mouth respiratory pressures improved from higher to lower levels of injury. The main difference between these pressure measurements was that MEP was more severely impaired than MIP. Thus, the highest mean percent predicted value for MEP was equal to the lowest one achieved for MIP. The maximal static mouth expiratory pressure was impaired in all spinal cord injured patients. The maximal static mouth pressure correlates with level of injury only for complete motor injured patients. This correlation was better for MEP than MIP.

Spirometry has been the most frequently used measurement of respiratory muscle function in spinal cord lesion patients.^{4,5} Although theoretically important, maximal static respiratory pressures have not played as great a clinical role in the evaluation of the respiratory muscles. Thirty-three articles were found that measured maximal static respiratory pressures in patients with spinal cord injury (March 2006, Medline, Embase, Cinahl, Pedro, and Lilacs) (Supplementary Information on the journal's web site). Lack of standard equations for predicted values, differences in equipment, and methodology add difficulty to the analysis of the research on this topic. Of these 33 articles, only eight describe the type of mouth piece, 11 describe the presence and size of a pressure relief port, varying from 0.5 to 1.8 mm, and 11 report the minimum time of respiratory effort. Eight of 33 applied predictive equations to the analysis, five used Black and Hyatt,¹⁷ two Wilson *et al*,¹⁸ and one Rochester,¹⁹ with the rest considering only the absolute values.

In view of the variability and diversity of available equipment and methodology, it seems important to describe the laboratory procedure in detail. Our protocol was chosen based on criteria of easy applicability and reproducibility in obtaining maximal static mouth respiratory pressures. The equation of Black and Hyatt¹⁷ for prediction of maximal static mouth

respiratory pressures was chosen considering the similarity of their methodology to our protocol, although we detail some small differences. This method is the current routine for all our patients with spinal cord injury. Standardized methodology provides a better basis from which to analyze the data in patients with lesions from C4 to L3.

The rigid tube style mouth piece was chosen as it is the most appropriate in the general population,²⁰ as well as patients with spinal cord lesions.⁶ A pressure relief escape of 2 mm diameter by 40 mm length has been shown to be the most effective in avoidance of closure of the glottis.⁸ It also minimizes the undesirable effects of pressures generated by face muscles during the respiratory force measurement.^{16,21} The total pulmonary capacity was adopted as the point from which to measure MEP and residual volume from which to measure MIP. They represent reliably recognized and reproducible points in the respiratory cycle.¹⁹ The peak pressure sustained for 1 s just after the first second following initiation of the respiratory effort was chosen because it is reproducible⁸ and minimizes interference from potential spasticity generated in response to the forced maneuver in some patients with tetraplegia.²² A minimum of four tests of MIP and MEP was conducted avoiding fatigue effects. We accept that there may be difficulty in comparing our results to other published literature. At a minimum, we would encourage others to meticulously detail their methodology.

The current difficulty in comparing the results of studies is exemplified in two small methodological differences between our adopted technique and that of Black and Hyatt.¹⁷ Differences in pressure measurements stem from the way a mouthpiece is used rather than the mouthpiece *per se*.²⁰ Black and Hyatt¹⁷ subjects held the mouthpiece, whereas in our protocol it was by the operator. Subject held mouthpieces may favor lower values owing to less secure mouth sealing around the apparatus. Secondly, maximum sustained pressures for 1 s may not be as high as the obtained peak pressure but is believed to be more reproducible.⁸ In Black and Hyatt¹⁷ study, the measured peak pressure was recorded during the first second, whereas we considered the peak pressure just after the first second, favoring higher values in the former. The differences in these two aspects of the both studies are based on differing applicability in patients with spinal cord lesions. Thus, we do not know if these differences affect equivalency and comparability of the results. Moreover, other currently unappreciated methodological aspects may affect the applicability of the Black and Hyatt¹⁷ equations to spinal cord lesion patients. As there is currently a lack of specific predictive equation for patients with spinal cord injury, we feel that our data may help the interpretation of MIP and MEP measurements in these patients.

The greater negative impact of spinal cord injury on MEP than MIP has already been well established in the literature.¹² However, the strong correlation observed with the exact complete motor level has not been reported previously. This result reinforces the thought

that MEP and MIP impairment may have a common origin, related to the segmental nature of the motor neural control of the respiratory muscles, and synergism between inspiration and expiration activity. The diaphragm is the main muscle of inspiration innervated by roots C3–C5 and the reason why MIP is normal in the group patients with lesion below T1 level. The main muscles of expiration are abdominal whose innervations are from T6–T11, although numerous other muscles above and below this level can indirectly participate in forced expiration.²³ This peculiarity may explain why all subgroups exhibited average percent predicted MEP below 80% and the better correlation with the level of spinal cord lesion. The mechanical efficiency of the diaphragm depends on its position and the stability of the chest wall, provided mainly by the intercostals and abdominal muscles.²³

Then remains the question of how our patients with C4 injury, with phrenic nerve diaphragm innervation impaired, could generate measurable inspiratory pressure. Additionally, how do those with injury above T6, and therefore without abdominal muscle innervation, generate measurable expiratory pressure? In the case of C4 injury, patients may be capable of generating negative inspiratory pressure, through the action of accessory inspiratory muscles, innervated by the cervical plexus, such as sternocleidomastoid and residual diaphragm motor unit recruitment.²³ Patients with lesions above T6, may generate expiratory pressure by the action of the clavicular portion of the major pectoral muscle.^{24,25}

For practical reasons, we attributed an arbitrary unit value for each level of lesion in the correlative analysis. This number may not fully reflect actual difference from one level to another. It may serve only as a gross estimation because the real contribution of each level must be different owing to the varying importance of segmental innervation of the participating muscle groups. As more segmental muscles participate in expiration than in inspiration the discrepancy between levels appears more gradual for MEP than MIP. Other unmeasured factors may be contributing to these results, especially the dependence of pulmonary volumes on the viscoelastic properties of the respiratory system.⁸

Linear regression equations for the relationship of percent predicted MIP or MEP to complete motor level of injury may be useful to establish normative association between them. The equations are already adjusted for gender and age differences.¹⁷ This could be used in detecting associated disorders as distinct from anticipated neurological effects based on spinal cord injury level *per se*. A discrepancy between the percentages predicted maximal static pressure and the actual measurement might stimulate a search for other related injuries such as phrenic nerve injury or syringomyelia, resultant from the primary traumatic event. We feel that these relationships should be considered in the pulmonary evaluation of patients with spinal cord injury.

References

- 1 Mansel JK, Norman JR. Respiratory complications and management of spinal cord injuries. *Chest* 1990; **97**: 1446–1452.
- 2 DeVivo MJ *et al*. Cause of death for patients with spinal cord injuries. *Arch Intern Med* 1989; **149**: 1761–1766.
- 3 DeVivo MJ, Black KJ, Stover SL. Causes of death during the first 12 years after spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 1993; **74**: 248–254.
- 4 Baydur A, Adkins RH, Milic-Emili J. Lung mechanics in individuals with spinal cord injury: effects of injury level and posture. *J Appl Physiol* 2001; **90**: 405–411.
- 5 Linn WS *et al*. Forced vital capacity in two large outpatient populations with chronic spinal cord injury. *Spinal Cord* 2001; **39**: 263–268.
- 6 Tully K *et al*. Maximal expiratory pressures in spinal cord injury using two mouthpieces. *Chest* 1997; **112**: 113–116.
- 7 Uijl SG *et al*. Training of the respiratory muscles in individuals with tetraplegia. *Spinal Cord* 1999; **37**: 575–579.
- 8 Anonymous. ATS/ERS Statement on Respiratory Muscle Testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; **166**: 518–624.
- 9 Gounden P. Static respiratory pressures in patients with post-traumatic tetraplegia. *Spinal Cord* 1997; **35**: 43–47.
- 10 Fujiwara T, Hara Y, Chino N. Expiratory function in complete tetraplegics: study of spirometry, maximal expiratory pressure, and muscle activity of pectoralis major and latissimus dorsi muscles. *Am J Phys Med Rehabil* 1999; **78**: 464–469.
- 11 Boaventura CM *et al*. Effect of an abdominal binder on the efficacy of respiratory muscles in seated and supine tetraplegic patients. *Physiotherapy* 2003; **89**: 290–295.
- 12 Maynard Jr FM *et al*. International Standards for Neurological and Functional Classification of Spinal Cord Injury. American Spinal Injury Association. *Spinal Cord* 1997; **35**: 266–274.
- 13 American Thoracic Society. Standardization of Spirometry, 1994 Update. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; **152**: 1107–1136.
- 14 Crapo RO, Morris AH, Gardner RM. Reference spirometric values using techniques and equipment that meet ATS recommendations. *Am Rev Respir Dis* 1981; **123**: 659–664.
- 15 Ashba J *et al*. Spirometry-acceptability and reproducibility in spinal cord injured subjects. *J Am Paraplegia Soc* 1993; **16**: 197–203.
- 16 Ringqvist T. The ventilatory capacity in healthy subjects. An analysis of causal factors with special reference to the respiratory forces. *Scand J Clin Lab Invest Suppl* 1966; **88**: 5–179.
- 17 Black LF, Hyatt RE. Maximal respiratory pressures: normal values and relationship to age and sex. *Am Rev Respir Dis* 1969; **99**: 696–702.
- 18 Wilson SH *et al*. Predicted normal values for maximal respiratory pressures in Caucasian adults and children. *Thorax* 1984; **39**: 535–538.
- 19 Rochester DF. Tests of respiratory muscle function. *Clin Chest Med* 1988; **9**: 249–261.
- 20 Koulouris N *et al*. Comparison of two different mouthpieces for the measurement of Pimax and Pemax in normal and weak subjects. *Eur Respir J* 1988; **1**: 863–867.
- 21 Mayos M *et al*. Measurement of maximal static respiratory pressures at the mouth with different air leaks. *Chest* 1991; **100**: 364–366.

- 22 De Troyer A, Heilporn A. Respiratory mechanics in quadriplegia. The respiratory function of the intercostal muscles. *Am Rev Respir Dis* 1980; **122**: 591–600.
- 23 De Troyer A, Estenne M. Functional anatomy of the respiratory muscles. *Clin Chest Med* 1988; **9**: 175–193.
- 24 De Troyer A, Estenne M, Heilporn A. Mechanism of active expiration in tetraplegic subjects. *N Engl J Med* 1986; **314**: 740–744.
- 25 Estenne M *et al*. The effect of pectoralis muscle training in tetraplegic subjects. *Am Rev Respir Dis* 1989; **139**: 1218–1222.

Supplementary Information accompanies the paper on the Spinal Cord website (<http://www.nature.com/sc>).

Appendix

Equation for prediction and inferior limits¹⁷ of maximal inspiratory pressure (MIP) and maximal expiratory pressure (MEP)

Gender	MIP		MEP	
	Average predicted (cmH ₂ O)	Lower limit of normal ^a	Average predicted (cmH ₂ O)	Lower limit of normal ^a
Male	143–(0.55 × age ^b)	71	268–(1.03 × age)	111
Female	104–(0.51 × age)	39	170–(0.53 × age)	88

^aLimits of age = 20–86 years

^bIndependent of age