

AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE VENTILADORES AUTOMÁTICOS (*)

1351

DR. RENATO ANGELO SARAIVA ()**
DR. JOÃO GERALDO MARTINELLI (*)**
DR. EDÍSIO PEREIRA (*)**
DR. ZAIRO E. G. VIEIRA (**)**

AP/708

Foram estudados os ventiladores automáticos nacionais Takaoka 660/855, Ventilotec M, Narcofolex, e Icel, todos projetados e lançados de 1973 a 1976, utilizando um modelo experimental que simula as várias situações encontradas nas vias aéreas e pulmões: 1. normalidade de compliância pulmonar e resistência da via aérea; 2. casos de patologia pulmonar restritiva, compliância reduzida e resistência normal; 3. casos de patologia pulmonar obstrutiva, compliância normal e resistência aumentada; 4. casos de patologia pulmonar mixta restritiva e obstrutiva, compliância reduzida e resistência aumentada.

O analógico do pulmão consiste em dois recipientes de vidro dispostos em paralelo e interligados por um sistema de tubos ao qual se liga o ventilador a ser estudado. Compliância e resistência do sistema foram calculados em condições normais. O bloqueio de um dos pulmões reduz a compliância à metade e a diminuição do diâmetro da via aérea duplica a resistência.

Takaoka 660/855, e Icel apresentaram excelente desempenho quando a resistência da via aérea foi elevada. Com a compliância reduzida houve tendência à diminuição do fluxo, aumento da frequência e prolongamento da fase expiratória que podem ser corrigidos pela regulagem.

Ventilotec C, diferente dos outros ventiladores estudados, teve bom desempenho quando a compliância era reduzida, mas não funcionou do mesmo modo quando a resistência foi elevada.

Narcofolex foi muito estável. Ofereceu ótimo desempenho quando a resistência foi aumentada. Com a compliância reduzida houve apenas uma tendência a aumentar a frequência.

(*) Trabalho realizado no Laboratório de Fisiopatologia Cardiopulmonar da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília.

(**) Professor Adjunto (Anestesiologia) da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília.

(***) Professor Assistente (Fisiologia Cardiopulmonar) da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília.

(****) Professor Colaborador (Anestesiologia) da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília.

(*****) Professor Titular (Anestesiologia) da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília.

recebido em 22/12/77

aprovado p/publicação em 24/1/78

O crescente desenvolvimento da indústria nacional de ventiladores automáticos com freqüentes lançamentos de novos modelos, torna indispensável que sejam feitos estudos para avaliar o desempenho destes aparelhos.

A análise do desempenho dinâmico de um ventilador, além de caracterizar seus mecanismos de funcionamento, oferece elementos objetivos para definir sua versatilidade e limitações, assegurando as indicações e possíveis contra-indicações de seu uso.

Estudos desta natureza, oferecem aos fabricantes nacionais um suporte técnico considerável que por várias razões lhes permite maior poder de competição com similares estrangeiros e fornecem aos anestesiólogistas informações minuciosas dos aparelhos disponíveis para que possam usá-los com segurança e eficiência.

Este estudo foi idealizado para analisar o desempenho de ventiladores nacionais projetados e lançados de 1973 a 1975, utilizando um modelo que simula as várias situações encontradas nas vias aéreas e pulmões: 1. normalidade (Compliância pulmonar "C" e resistência das vias aéreas "r"); 2. casos de patologia restritiva (Compliância pulmonar baixa "c" e resistência da via aérea normal "r"); 3. casos de patologia pulmonar obstrutiva (Compliância normal "C" e resistência da via aérea aumentada "R"); e, 4. casos com patologia pulmonar mista, obstrutiva e restritiva, comum em criança (Compliância pulmonar baixa "c" e resistência da via aérea elevada "R").

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se o analógico do pulmão, descrito por Mushin e col. (1), para a avaliação do desempenho de ventiladores, que consiste em dois recipientes de vidro dispostos em paralelo (pulmões) e interligados por um sistema de tubos (via aérea) ao qual se liga o ventilador a ser estudado (fig. 1).

A compliância do sistema teve um valor de 0.0763 l/cm H₂O, e foi determinada pelos dois recipientes de vidro cujo volume total era de 22 litros. A torneira interposta em um dos tubos de conexão com o recipiente de vidro permitia o bloqueio da passagem do ar reduzindo a compliância à metade. O cálculo se processava do seguinte modo: um ventilador Harvard para animais de porte médio, foi ligado ao sistema e alimentado com ar proveniente de um espirógrafo de Collins de 13 litros, que permitia a determinação precisa do volume de ar injetado. A pressão dentro do recipiente de vidro, pressão alveolar, foi obtida simultaneamente por meio de um

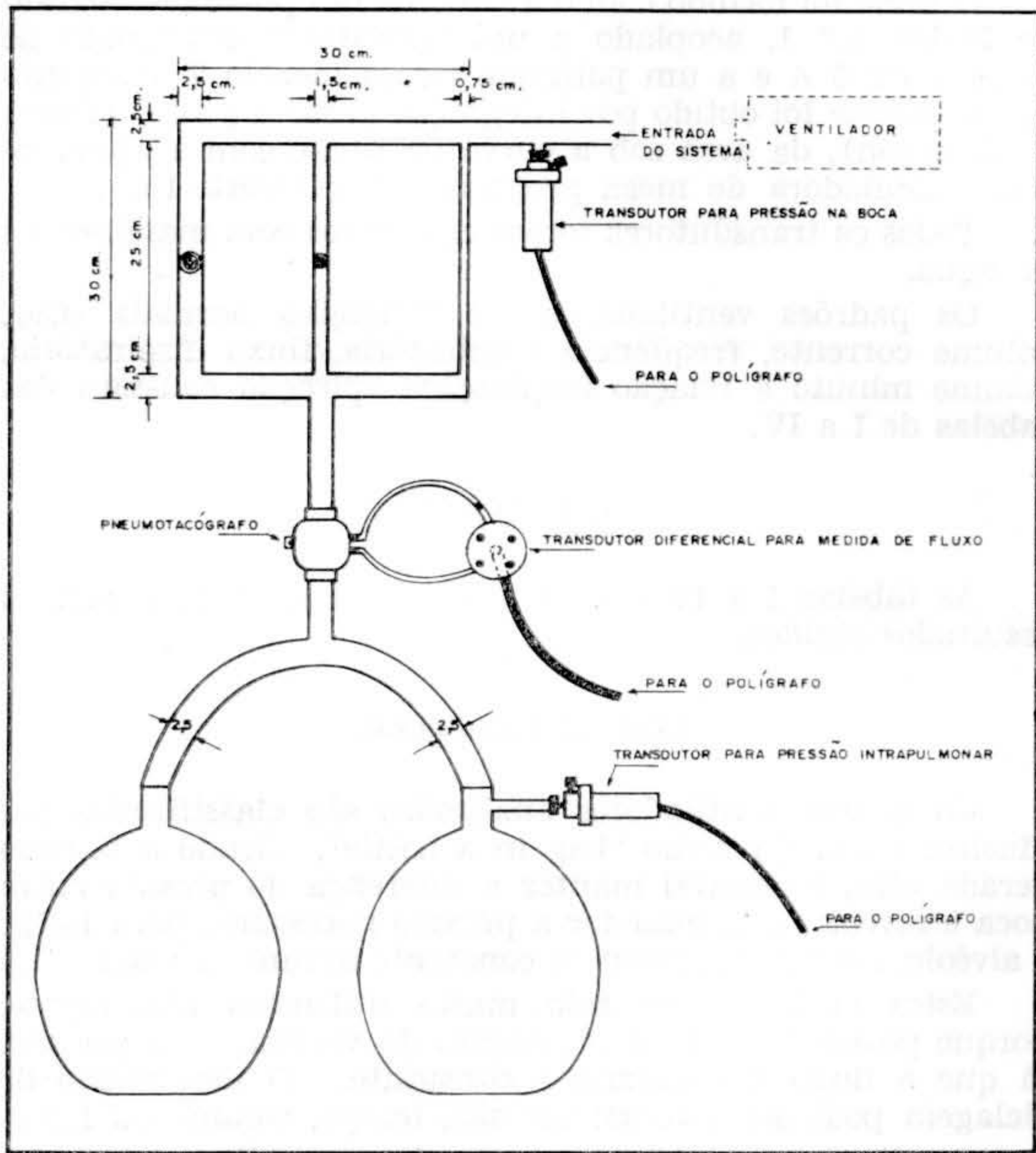


FIGURA 1

Análogo Pulmonar

transdutor Statham P 23 AC e de um polígrafo Grass modelo 7.

A resistência do sistema foi de 5,21 cm H₂O/L/seg. e podia ser duplicada com o fechamento da torneira maior da via aérea (fig. 1). Os cálculos foram realizados com o auxílio de um ventilador capaz de gerar um fluxo constante e com um transdutor diferencial de pressão PT 5 A, (Grass Instruments), ligado à entrada do sistema, pressão da boca, e ao recipiente de vidro, pressão alveolar, o que permite a obtenção direta do gradiente de pressão.

O fluxo foi medido com o auxílio de um pneumotacógrafo de Fleish n.º 1, acoplado a um transdutor diferencial de pressão PT 5 A e a um polígrafo Grass modelo 7, enquanto que o volume foi obtido por integração passo a passo, (Regra de Simpson), da área sob a curva de fluxo, com a ajuda de uma calculadora de mesa programável, (Olivetti 101).

Todos os transdutores foram calibrados com manômetros de água.

Os padrões ventilatórios em condições normais (Cr), volume corrente, frequência respiratória, fluxo inspiratório, volume minuto e relação inspiração/expiração constam das tabelas de I a IV.

RESULTADOS

As tabelas I a IV e os gráficos de 1 a 16, mostram os resultados obtidos.

ANÁLISE FUNCIONAL

Os quatro ventiladores analisados são classificados por Mushin e col. (1) como "bag in a bottle". Sendo a pressão gerada alta, é possível manter a diferença de pressão entre boca e alveolo, seja qual for a pressão necessária para inflar o alvéolo, e o fluxo permanece constante durante a inspiração.

Estes modelos tem sido muito utilizados atualmente, porque possibilitam fácil regulagem do volume e da pressão, já que o fluxo inspiratório é constante. O mecanismo de ciclagem pode ser diverso: pressão, tempo, volume ou fluxo.

Os diagramas e fluxogramas dos aparelhos estudados são geralmente publicados em catálogos e folhetos e podem ser obtidos mediante solicitação direta aos fabricantes.

TAKAOKA 660/855

Gerador de pressão alta, de fluxo inspiratório constante (0.45 L/Lseg), ciclagem a pressão com regulagem de volume, frequência e relação I/E.

Na inspiração a pressão da boca cresceu verticalmente no primeiro segundo e depois exponencialmente até a pressão de ciclagem. A elevação da pressão no pulmão foi sempre progressiva. O fluxo logo atingiu o seu valor máximo e se manteve constante durante toda a inspiração.

TAKAOKA 660/855

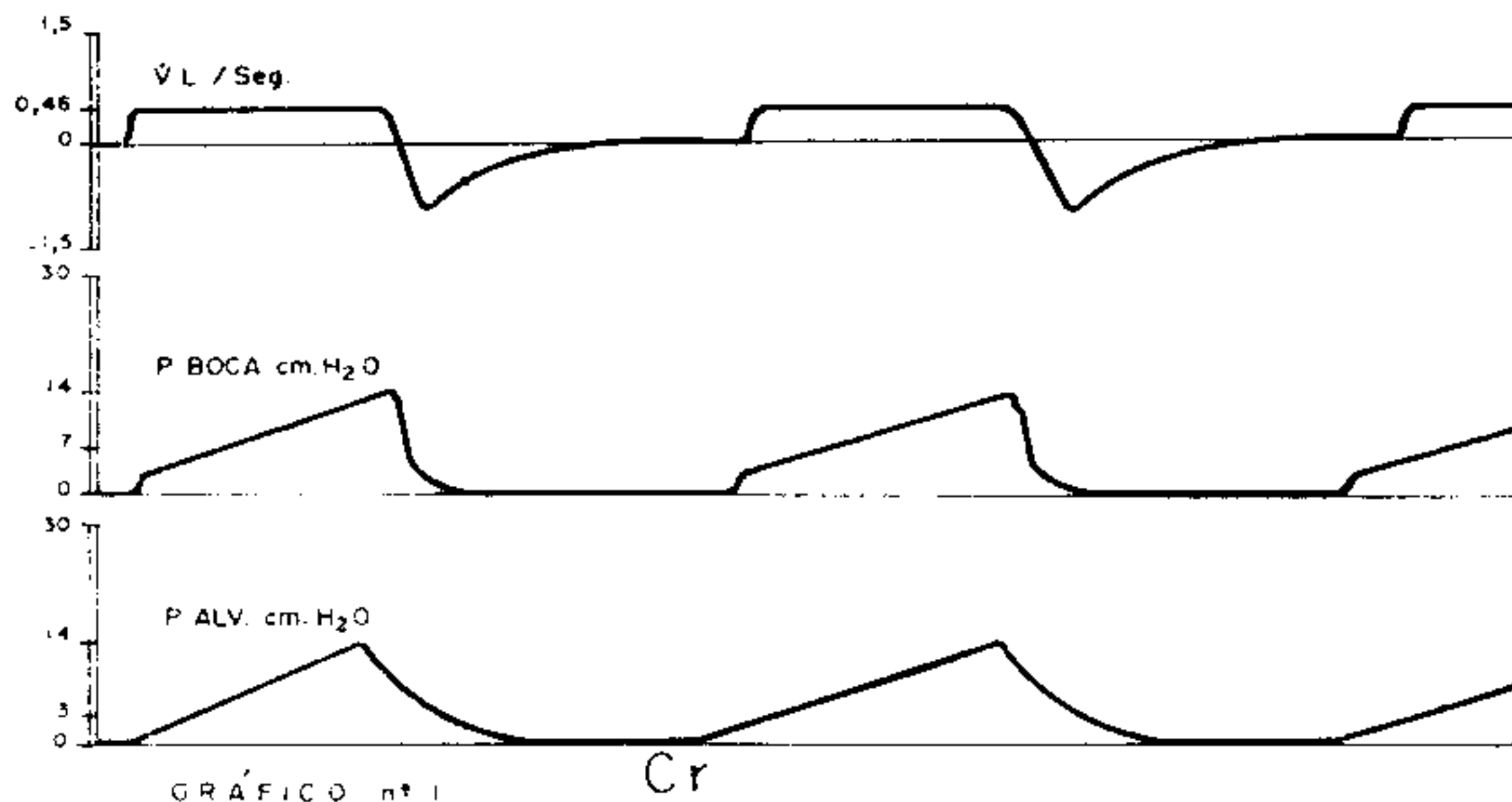


GRAFICO 1

Cr — Compliância pulmonar normal e resistência da via aérea normal

Na expiração as pressões na boca e alvéolo caíram rapidamente permitindo um rápido esvaziamento do pulmão (normal). O fluxo expiratório foi mais elevado no primeiro segundo caindo rapidamente em seguida.

TAKAOKA 660/855

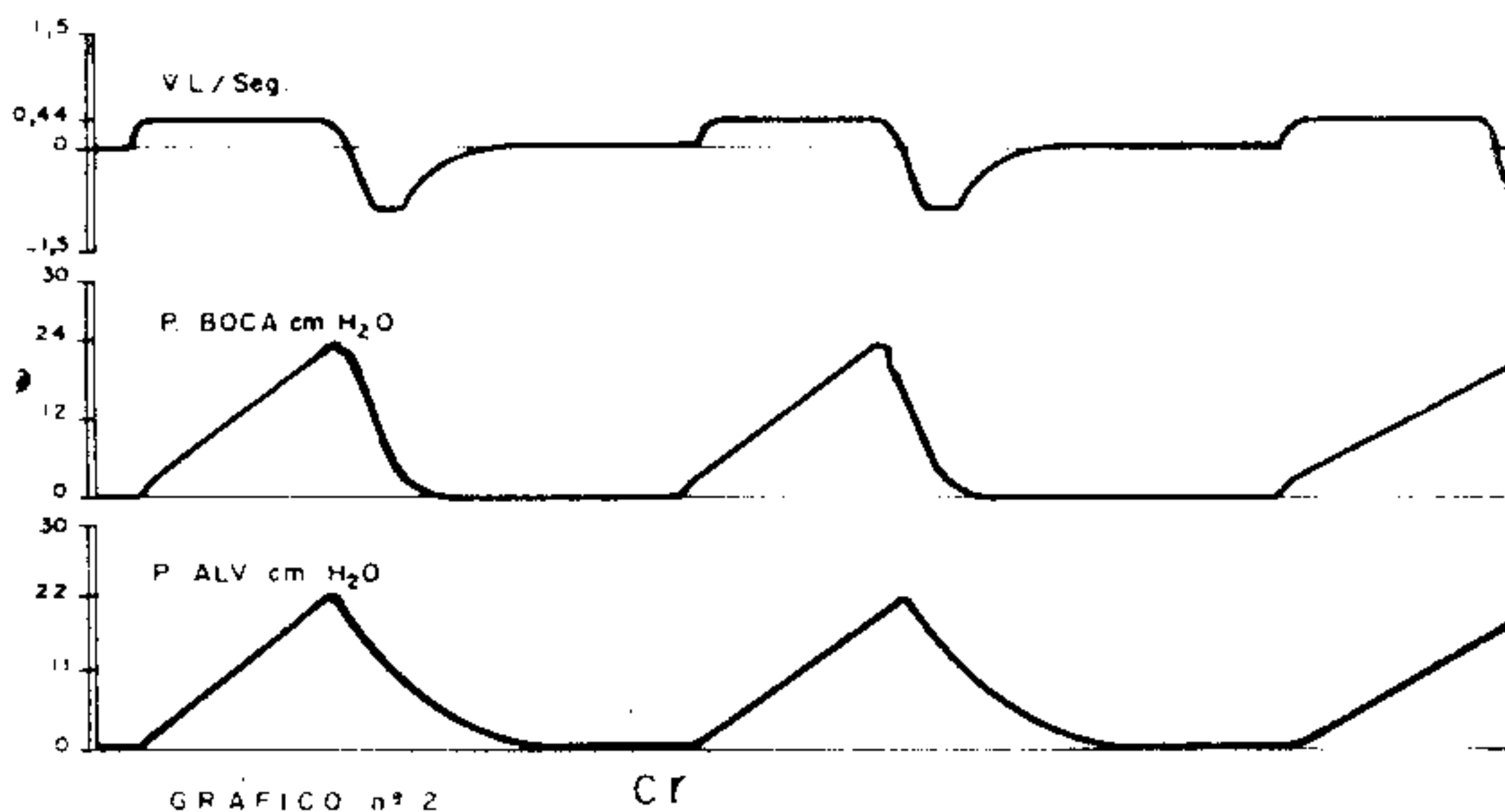


GRAFICO 2

cr — Compliância pulmonar reduzida e resistência da via aérea normal

TAKAOKA 660/855

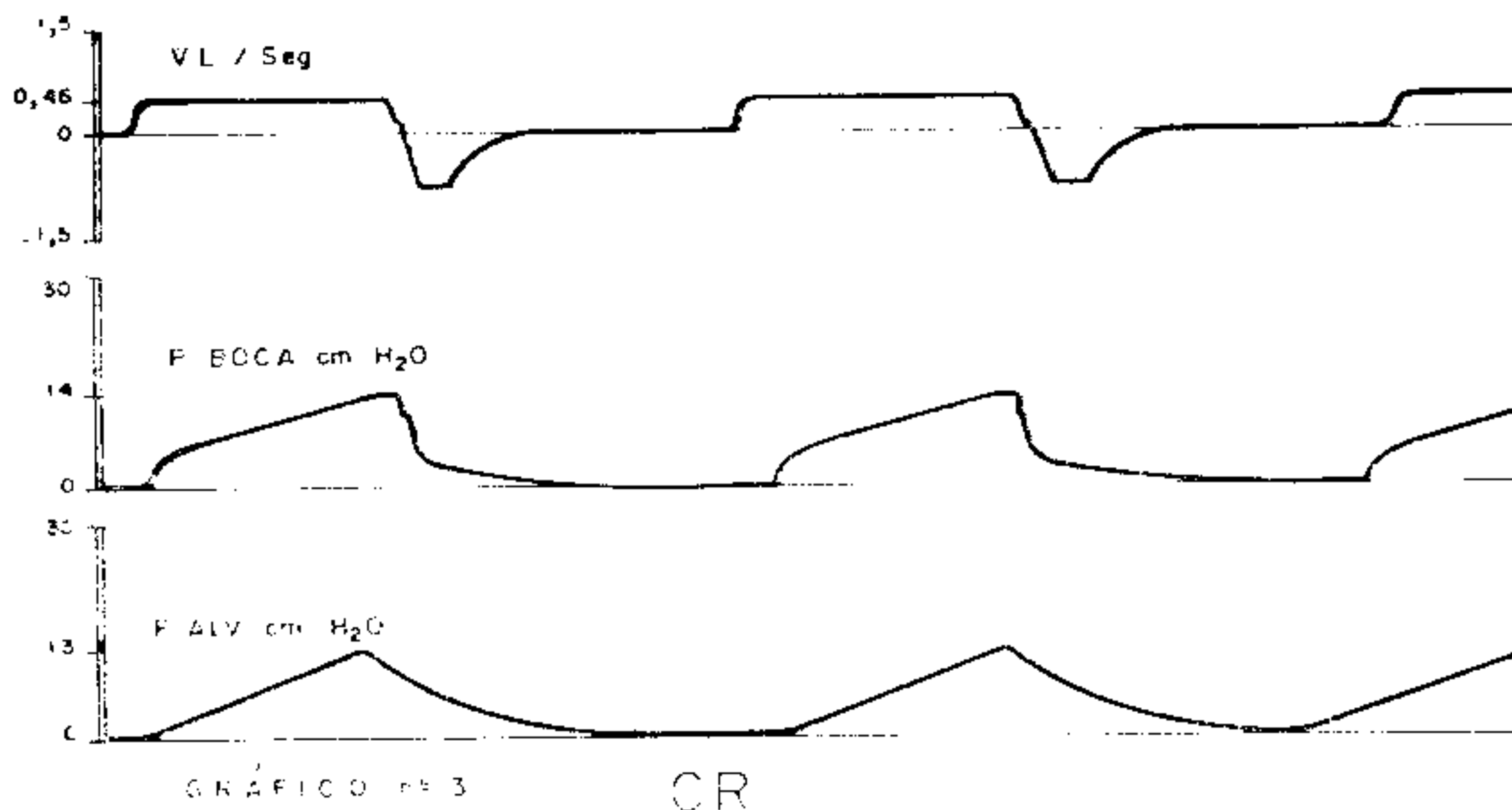


GRAFICO 3

CR — Compliância pulmonar normal e resistência da via aérea aumentada

A tabela I e os gráficos de 1 a 4 mostram a performance do ventilador a partir do controle onde o pulmão está normal "Cr". Quando a compliância pulmonar esteve baixa, aumentou a pressão de inflação do alvéolo, então a pressão da boca

TAKAOKA 660/855

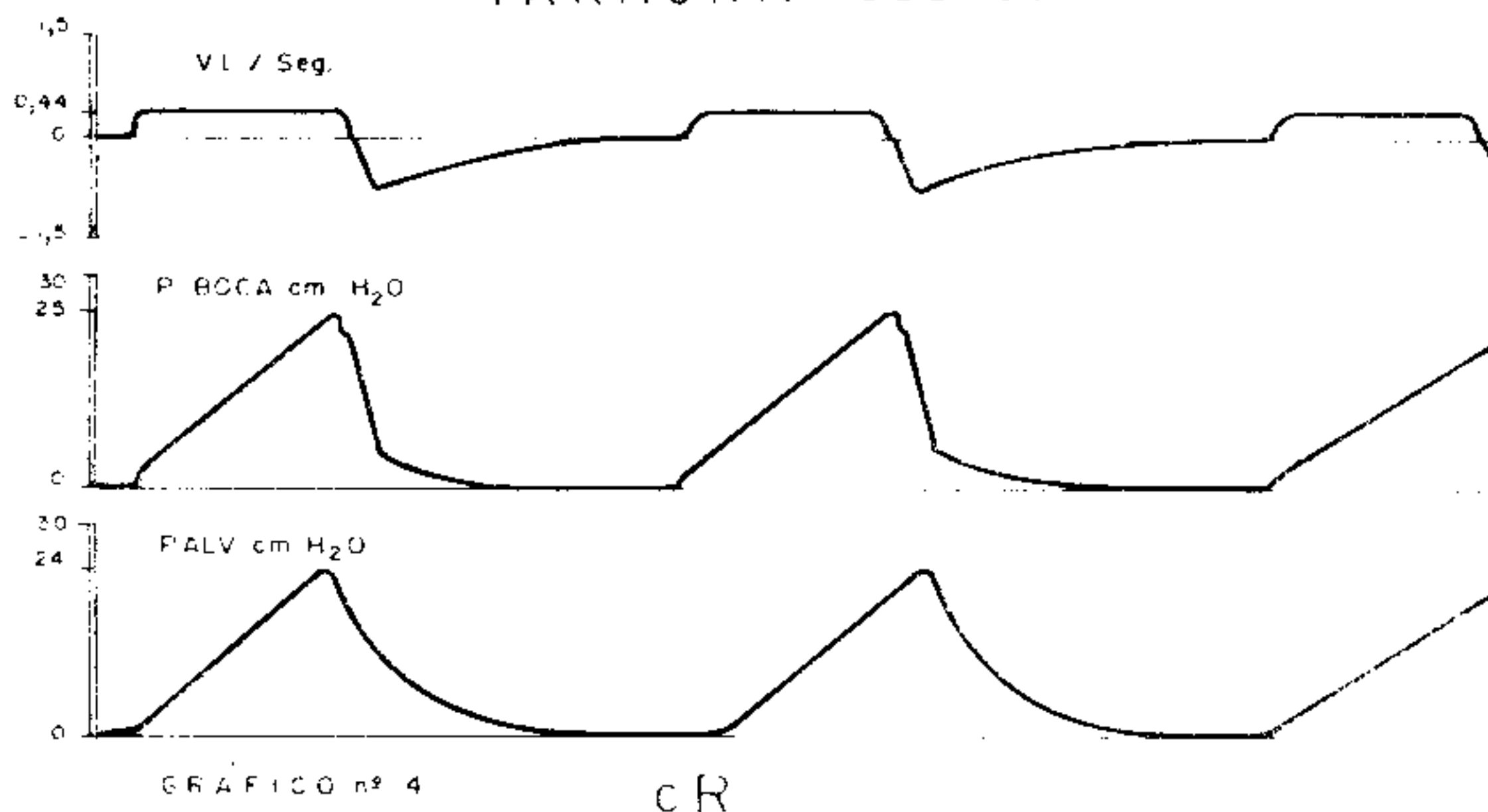


GRAFICO 4

cR — Compliância pulmonar reduzida e resistência da via aérea aumentada

teve que se elevar para manter o fluxo. A pressão de ciclagem foi mais rapidamente atingida, houve uma tendência a aumentar a frequência e o tempo expiratório prolongar-se. O aparelho oferece condições para corrigir esta situação com nova regulagem da pressão, frequência, e relação Insp/Exp. Quando a resistência da via aérea foi elevada o comportamento do aparelho praticamente não se alterou. Administrando fluxo baixo sofre menos impacto do turbilhão que aumenta ainda mais a resistência.

TABELA I

DESEMPENHO DO VENTILADOR TAKAOKA 660/855

TAKAOKA 660/855	PB cmH ₂ O	PA cmH ₂ O	V INSP L/seg.	F Ciclo/min	V INSP L/min	Relação INSP/EXP
Vc 800 ml Cr	13,8	12,2	0,460	10,1	8,080	1/1,79
cr	24,0	22,0	0,441	10,6	8,480	1/1,82
CR	14,4	13,2	0,460	9,9	7,992	1/1,77
cR	25,0	24,0	0,441	9,9	7,992	1/1,71

Cr — Compliância pulmonar normal e resistência da via aérea normal

cr — Compliância pulmonar reduzida e resistência da via aérea normal

CR — Compliância pulmonar normal e resistência da via aérea aumentada

cR — Compliância pulmonar reduzida e resistência da via aérea aumentada

Este ventilador é muito versátil, podendo ser usado seguramente em todos os casos em que o pulmão está normal e também quando há aumento da resistência da via aérea. Com a substituição do fole de adulto pelo infantil é indicado em crianças de qualquer idade. Quando a compliância está diminuída poderá injetar o volume previsto desde que o tempo inspiratório seja aumentado e mantida a pressão da boca elevada.

VENTILOTEC

Gerador de pressão alta e fluxo inspiratório constante, muito alto (mais de 1 l/seg), ciclagem a tempo, com regulagem de volume, pressão, e relação Insp/Exp.

Na inspiração as pressões na boca e alvéolo atingiram rapidamente valores máximos e se mantiveram. O fluxo se elevou verticalmente e se manteve por algum tempo, depois decresceu progressivamente até zero e permaneceu por um período que representa um terço da fase inspiratória (intervalo sem fluxo).

VENTILOTEC

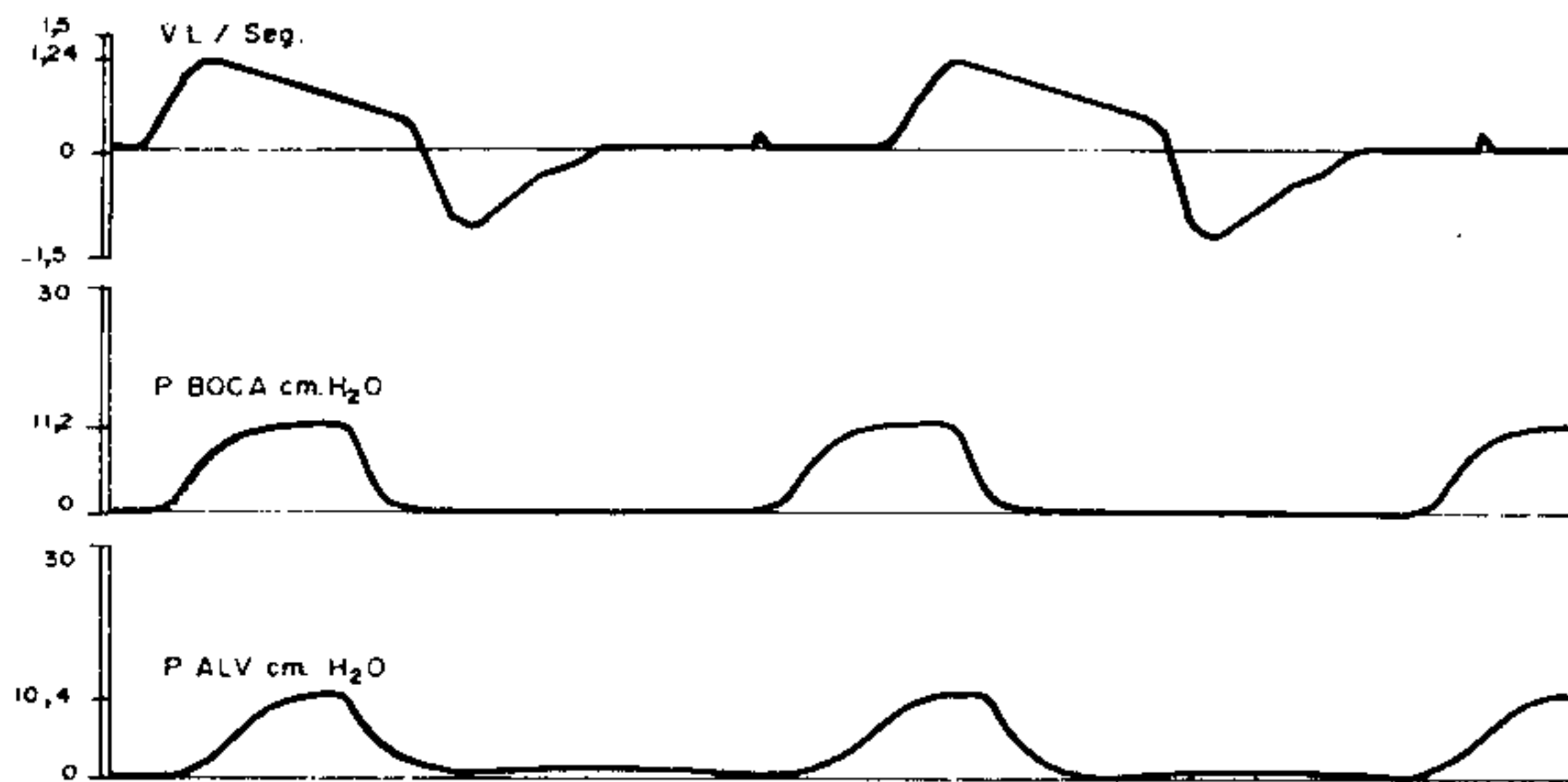


GRÁFICO nº 5

Cr

GRÁFICO 5

Cr — Compliância pulmonar normal e resistência da via aérea normal

Na expiração a pressão na boca caiu verticalmente logo no início e depois progressivamente. A pressão no alvéolo decresceu linearmente. O fluxo, imediatamente atinge seu valor mais alto depois vai sendo gradativamente reduzido.

VENTILOTEC

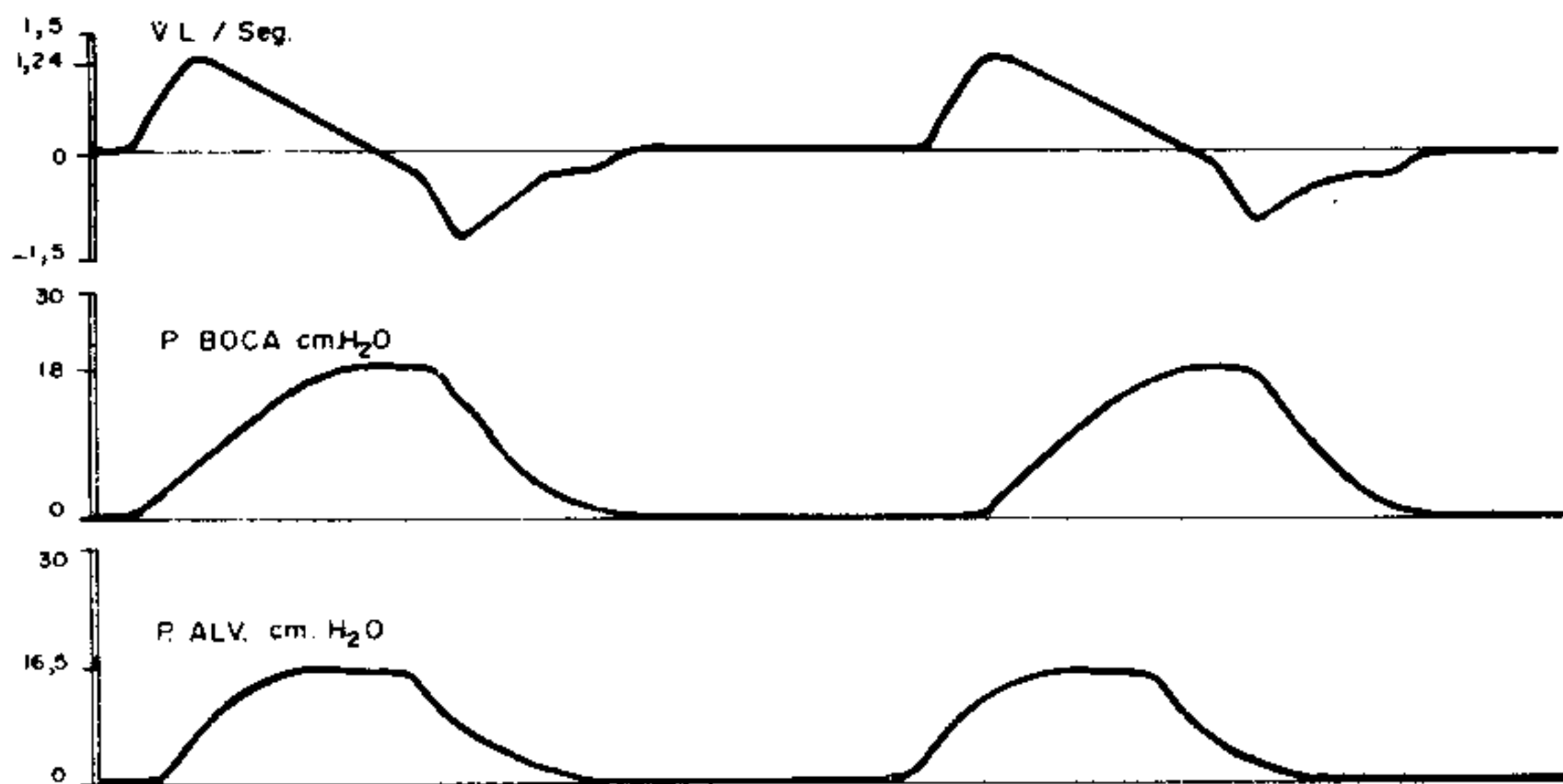


GRÁFICO nº 6

cr

GRÁFICO 6

cr — Compliância pulmonar reduzida e resistência da via aérea normal

VENTILOTEC

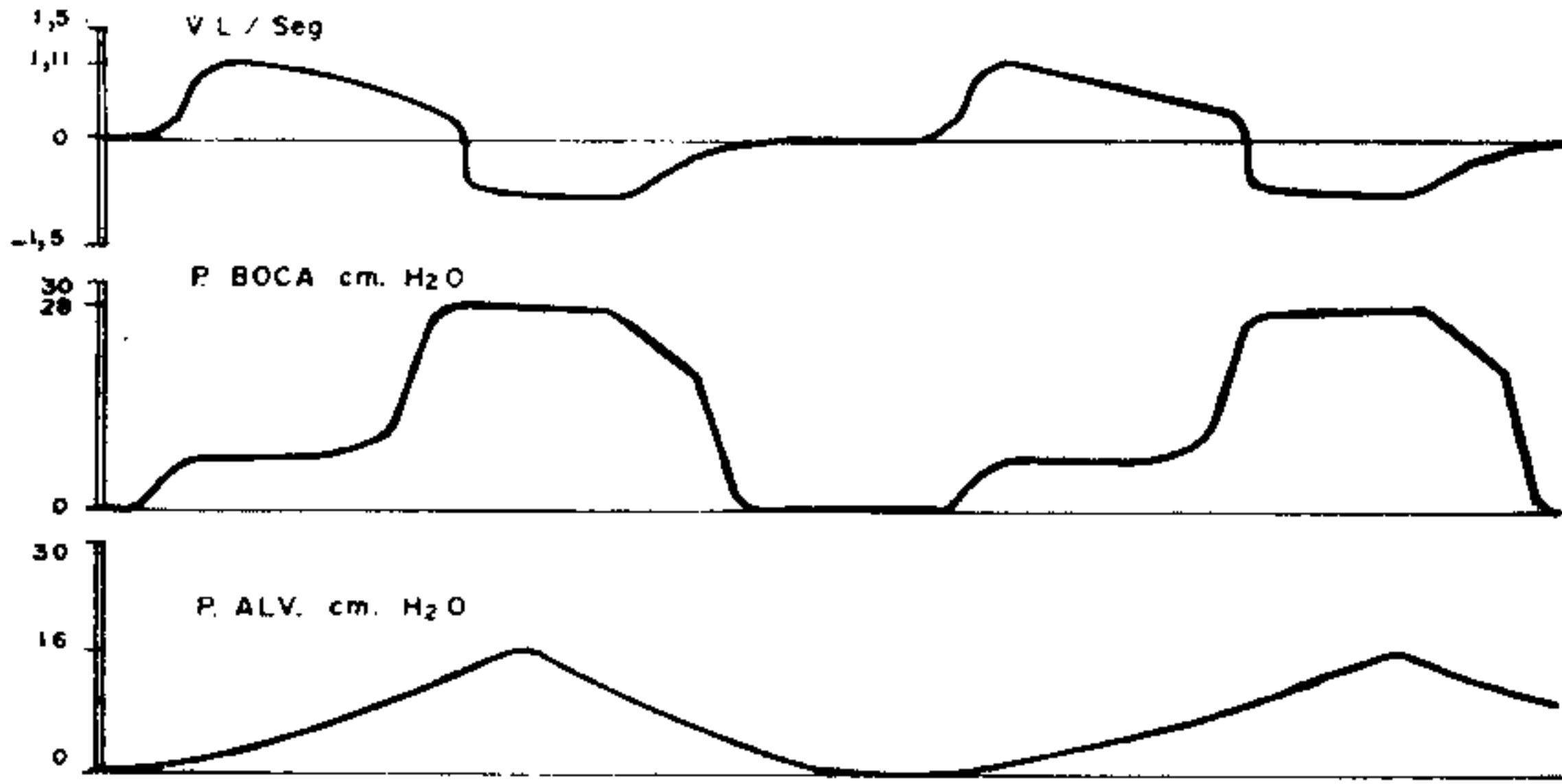


GRÁFICO nº 7

CR

GRAFICO 7

CR — Compliância pulmonar normal e resistência da via aérea aumentada

A tabela II e os gráficos de 5 a 8 mostram que quando a compliância foi reduzida "cr" a pressão na boca se elevou o necessário para inflar o pulmão e manter o gradiente de pressão boca-alvéolo, para que o fluxo não se alterasse. A

VENTILOTEC

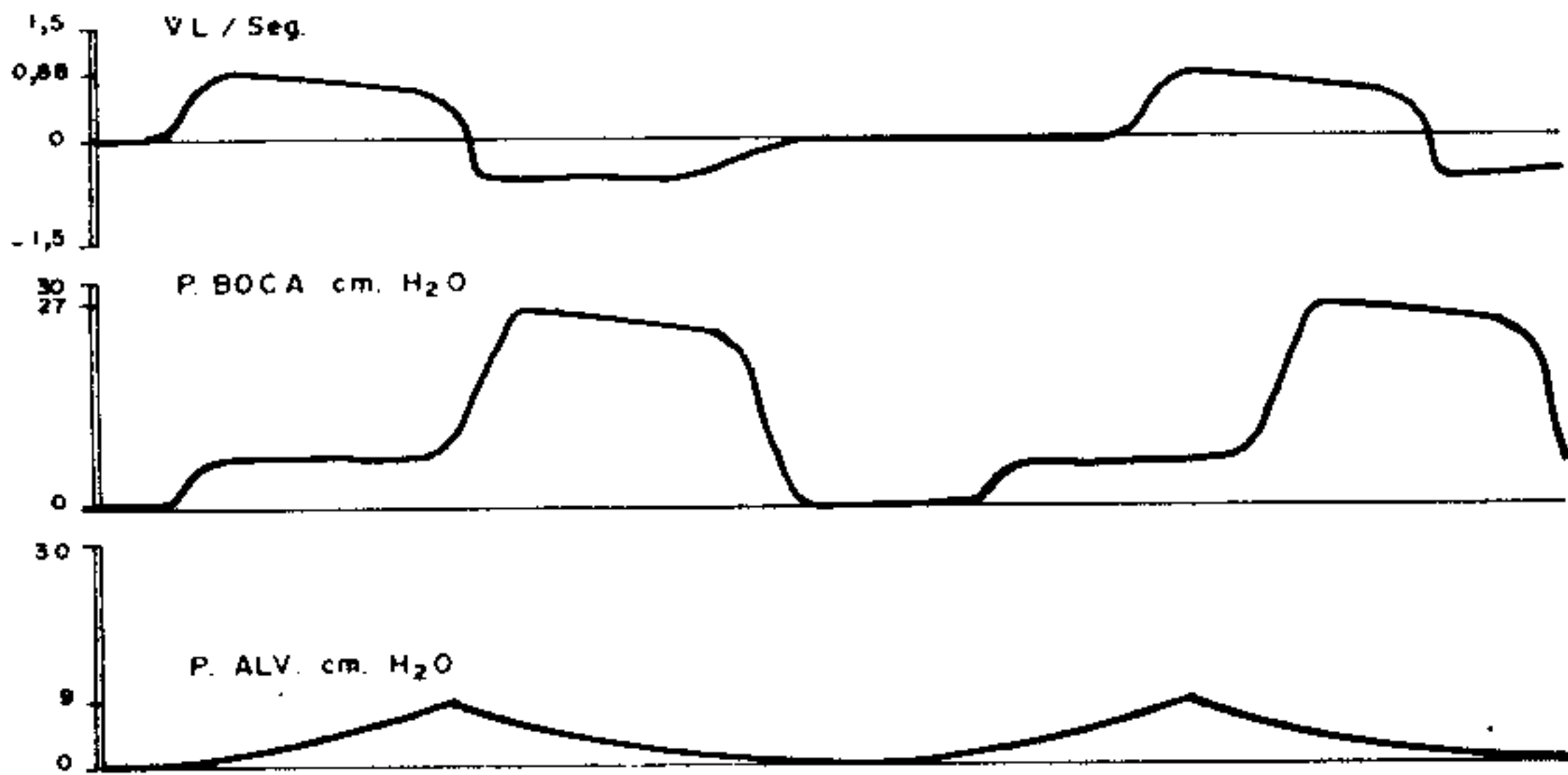


GRÁFICO nº 8

cR

GRAFICO 8

cR — Compliância pulmonar reduzida e resistência da via aérea aumentada

frequência, o volume minuto e a relação Insp/Exp. não apresentaram variações significantes. Quando a resistência foi aumentada "CR" o fluxo caiu, a pressão na boca se elevou muito e o fluxo tornou-se turbilhonar aumentando ainda mais a resistência da via aérea (²), a frequência reduziu um pouco e a fase expiratória ficou mais curta.

A regulagem não é difícil, porém é delicada. A pressão deve ser administrada com cautela, o suficiente para inflar os pulmões. Limitando-se o volume por dispositivo do fole e administrando-se uma pressão alta, é observado um "plateaux" na fase inspiratória, fazendo com que o pulmão fique hiperinflado durante algum tempo. O fluxo é variável de acordo com a pressão na boca, porém é sempre alto (geralmente mais de 1 l/seg.). Quando se eleva demasiadamente esta pressão o intervalo sem fluxo é mais longo. Só usar pressões altas quando se deseja realmente um "plateaux" inspiratório. O intervalo sem fluxo não pode ser excessivamente longo. Norlander (³) recomenda 1/5 ou no máximo 1/3 do tempo inspiratório.

TABELA II

DESEMPENHO DO VENTILADOR VENTILOTEC

VENTILOTEC	PB cmH ₂ O	PA cmH ₂ O	\dot{V} INSP L/seg.	F Ciclo/min	V INSP L/min	Relação INSP/EXP
Vc 300 ml Cr	11,2	10,4	1,24	10,9	8,720	1/2,5
cr	18	16,5	1,24	10,7	8,560	1/2
CR	28	16	1,11	10,3	8,240	1/1,8
cR	27	9	0,882	10,7	8,560	1/2,8

Cr — Compliância pulmonar normal e resistência da via aérea normal

cr — Compliância pulmonar reduzida e resistência da via aérea normal

CR — Compliância pulmonar normal e resistência da via aérea aumentada

cR — Compliância pulmonar reduzida e resistência da via aérea aumentada

Este ventilador parece ser bem indicado quando a compliância está reduzida. É capaz de insuflar o volume previsto em curto tempo e manter o pulmão inflado para ventilar os alvéolos de abertura lenta. Aparelho com este desempenho ainda não tinha sido produzido pela indústria nacional. Não é recomendado o seu uso em criança, a não ser acima de sete anos, nas situações citadas, e com peças especiais tais como fole, tubos e válvulas. A sua "performance" é consideravelmente prejudicada quando a resistência da via aérea esta aumentada.

N A R C O F O L E X

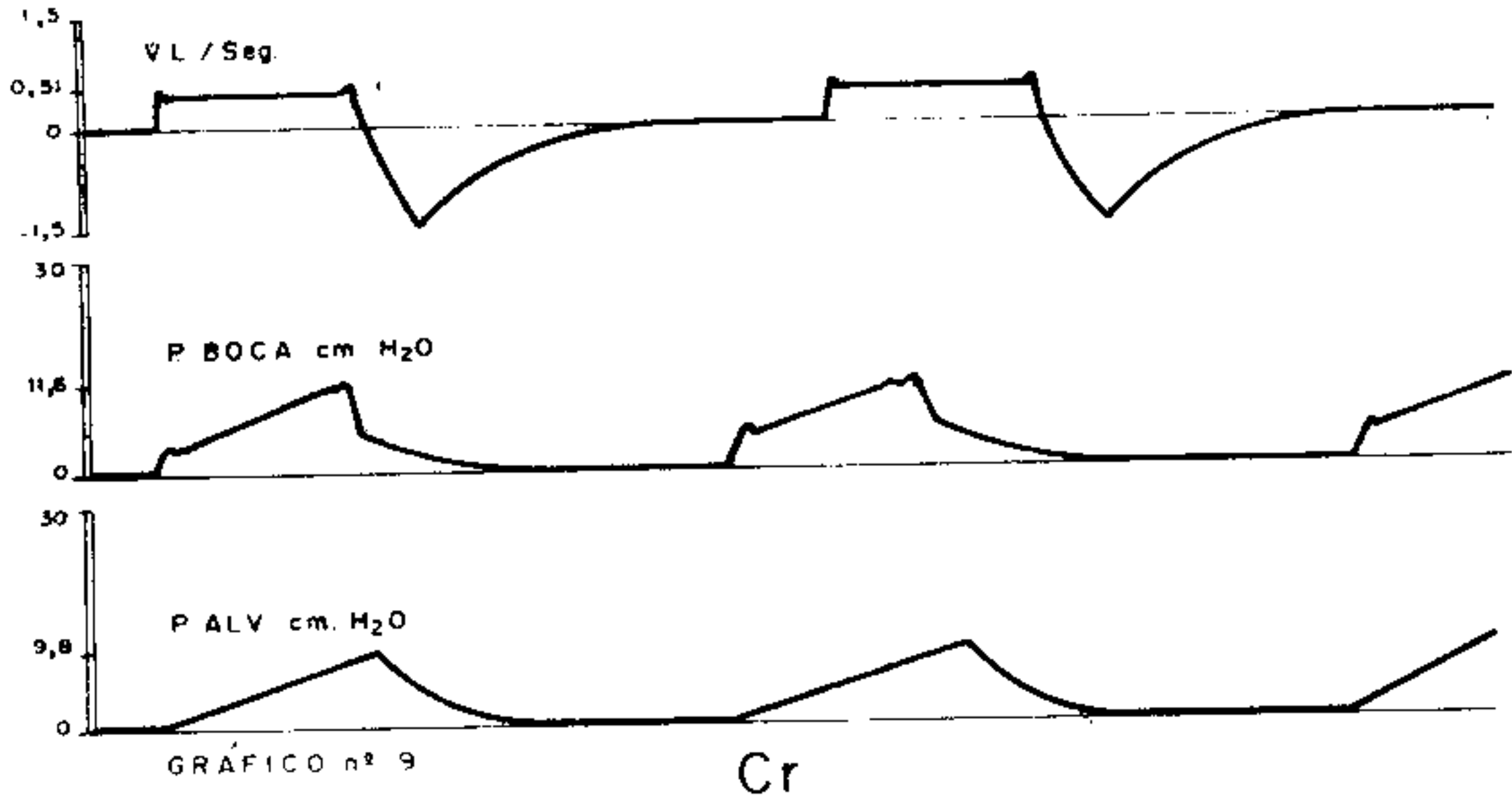


GRÁFICO 9

Cr — Compliância pulmonar normal e resistência da via aérea normal

NARCOFOLEX

Gerador de pressão alta e fluxo inspiratório constante, (0,5 l/seg), ciclado por volume com controle de pressão.

N A R C O F O L E X

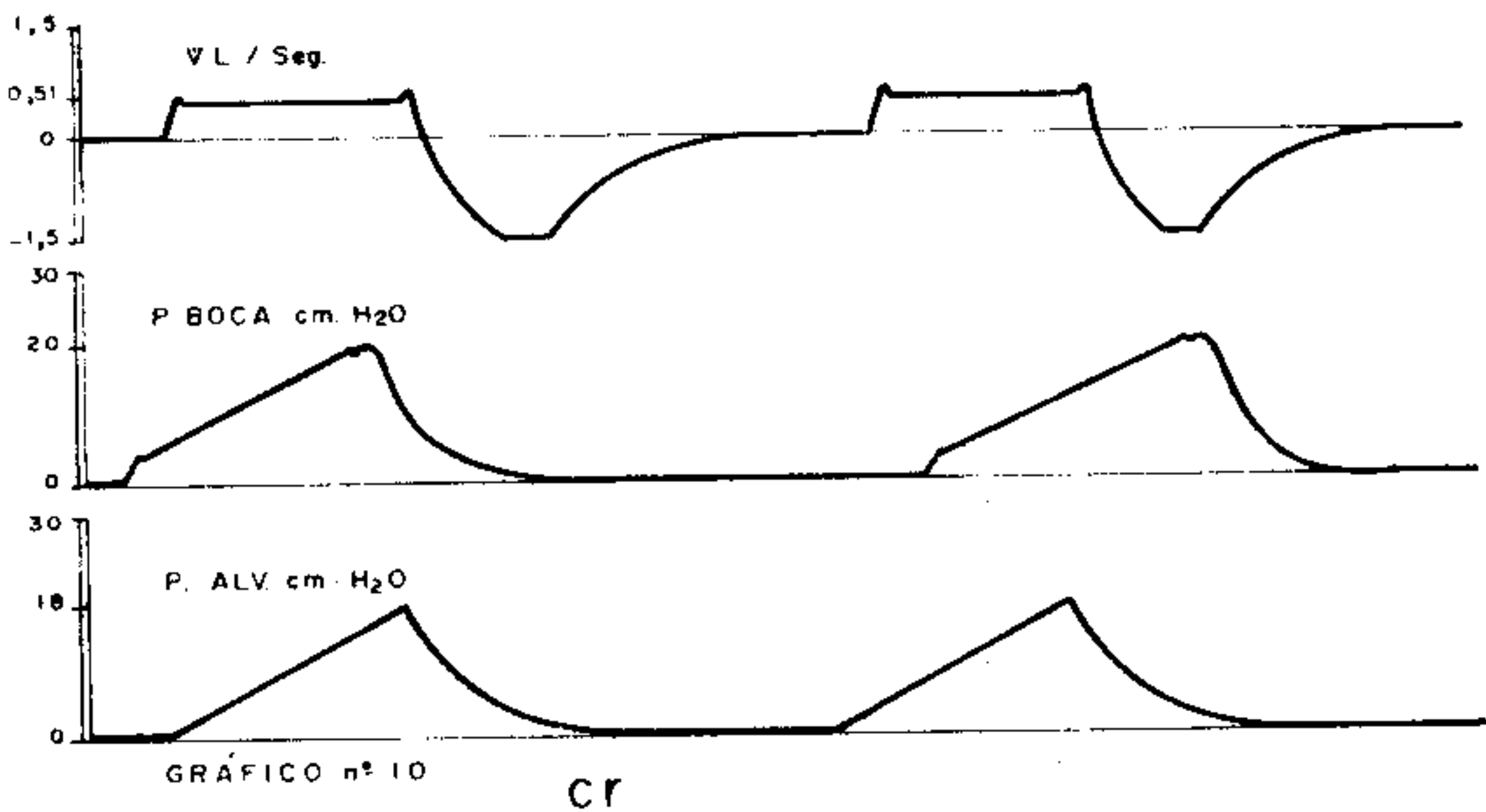


GRÁFICO 10

cr — Compliância pulmonar reduzida e resistência da via aérea normal

N A R C O F O L E X

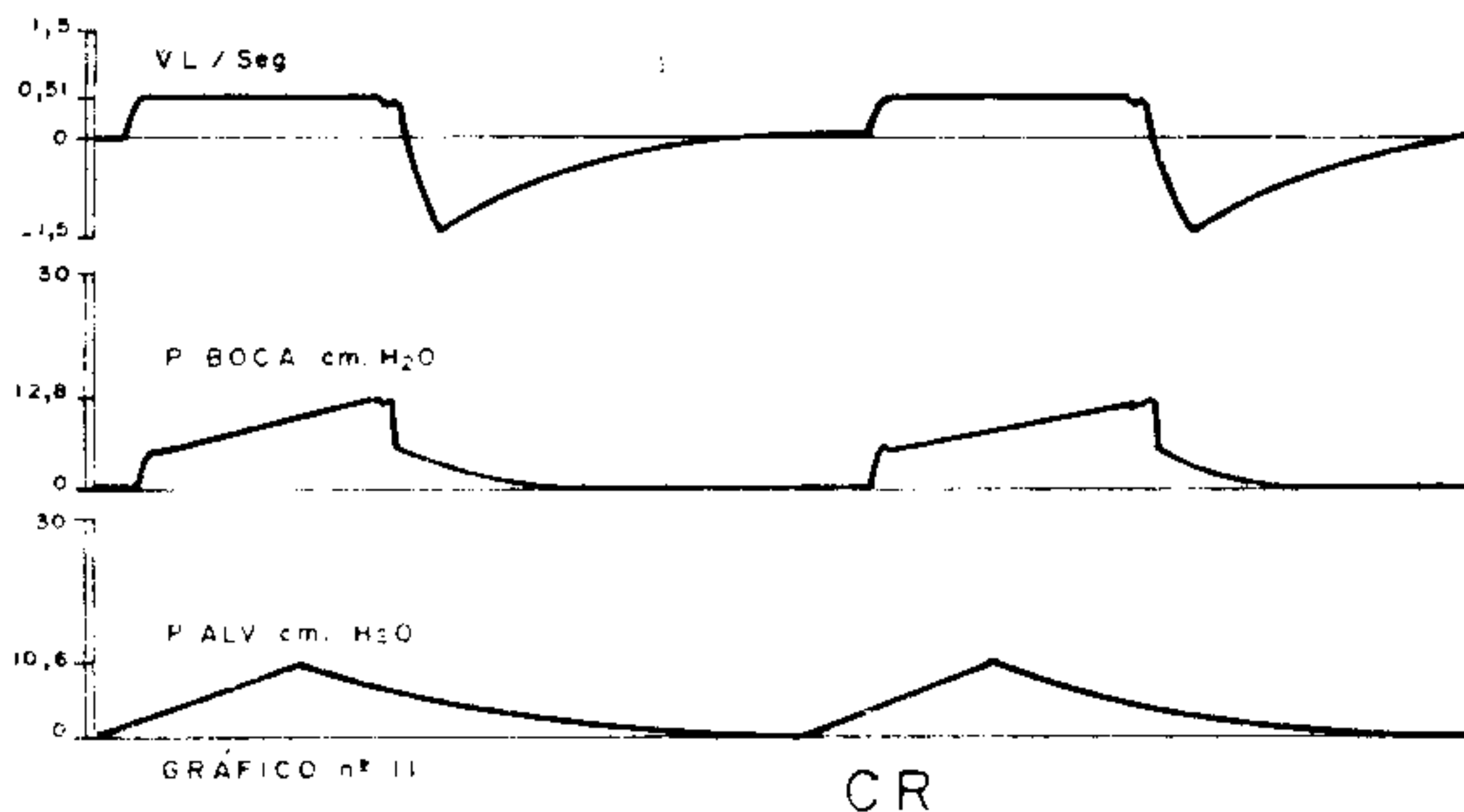
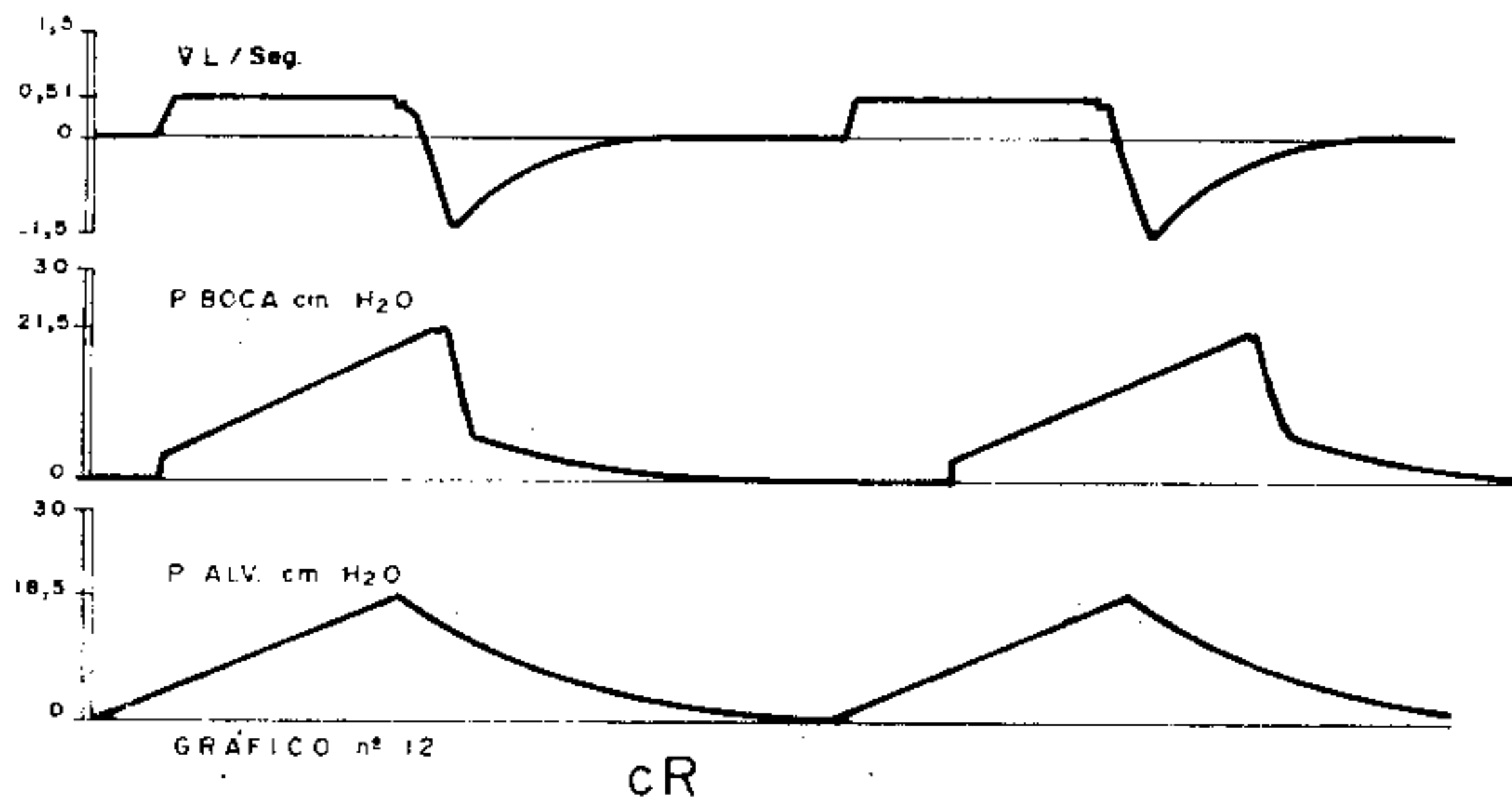


GRAFICO 11

CR — Compliância pulmonar normal e resistência da via aérea aumentada

Na inspiração a pressão na boca aumentou rapidamente no primeiro segundo e progressivamente depois. A pressão no pulmão cresceu linearmente até atingir o seu pico. O fluxo atingiu o seu valor máximo imediatamente e se manteve até

N A R C O F O L E X



cR
GRAFICO 12

cR — Compliância pulmonar reduzida e resistência da via aérea aumentada

ser injetado volume corrente previsto, logo após caiu verticalmente.

Na expiração a pressão na boca teve queda vertical, enquanto que a pressão alvéolar caiu exponencialmente. O fluxo atingiu seu valor máximo imediatamente e depois diminuiu progressivamente.

A tabela III e os gráficos 9 a 12 mostram que quando a compliância foi reduzida "cr" exigiu uma maior pressão para inflar o alvéolo, então houve uma elevação correspondente na pressão da boca para manter o gradiente de pressão e o fluxo manter-se constante. Quando a resistência da via aérea esteve aumentada "CR" o fluxo não se alterou. A frequência respiratória e a relação Insp/Exp. também não se alteraram nas variações de compliância pulmonar e resistência da via aérea.

TABELA III

DESEMPENHO DO VENTILADOR NARCOFOLEX

NARCOFOLEX	PB cmH ₂ O	PA cmH ₂ O	V INSP L/seg.	F Ciclo/min	V INSP L/min	Relação INSP/EXP
Vc 800 ml Cr	11,6	9,8	0,514	14,41	11,528	1/1,6
cr	20,5	18,0	0,514	14,57	11,656	1/1,6
CR	12,8	10,6	0,514	14,28	11,424	1/1,6
cR	21,5	18,5	0,514	14,57	11,656	1/1,6

Cr — Compliância pulmonar normal e resistência da via aérea normal

cr — Compliância pulmonar reduzida e resistência da via aérea normal

CR — Compliância pulmonar normal e resistência da via aérea aumentada

cR — Compliância pulmonar reduzida e resistência da via aérea aumentada

Este ventilador provavelmente se presta para todos os pacientes com pulmão normal e também quando a resistência da via aérea está aumentada. É bem indicado em crianças acima de seis anos de idade.

ICEL

Gerador de pressão alta e fluxo inspiratório constante (0,4 l/seg), ciclagem a tempo, com regulagem de volume e pressão.

Na inspiração a pressão na boca cresceu progressivamente e do mesmo modo a pressão alvéolar. O fluxo aumentou rapidamente e quando atingiu o seu valor máximo se manteve até completar o tempo determinado para ciclagem.

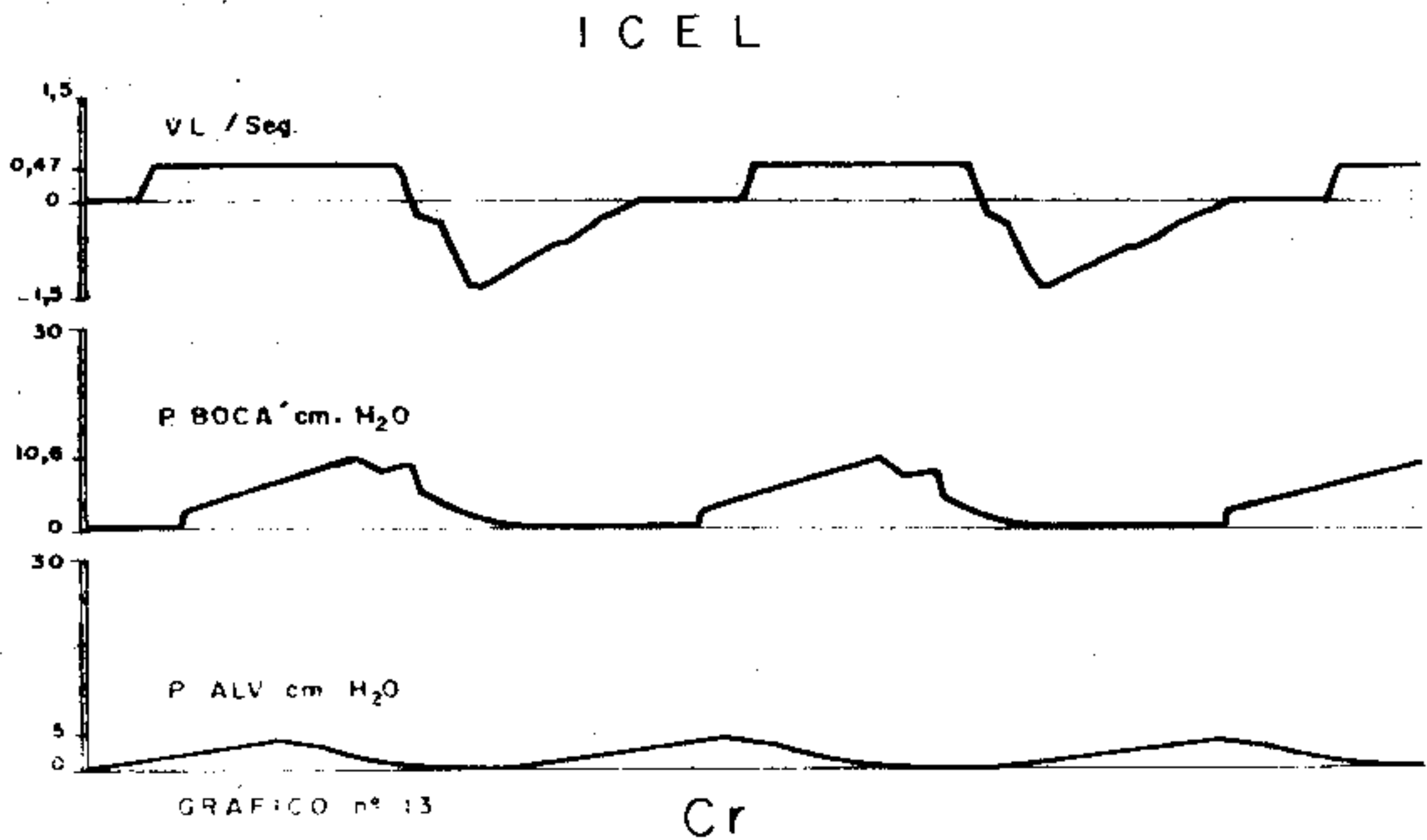


GRAFICO 13

Cr — Compliância pulmonar normal e resistência da via aérea normal

Na expiração a pressão na boca caiu verticalmente no início e depois progressivamente enquanto que a pressão no alvéolo decresceu exponencialmente. O fluxo imediatamente atingiu o seu pico depois diminuiu gradativamente.

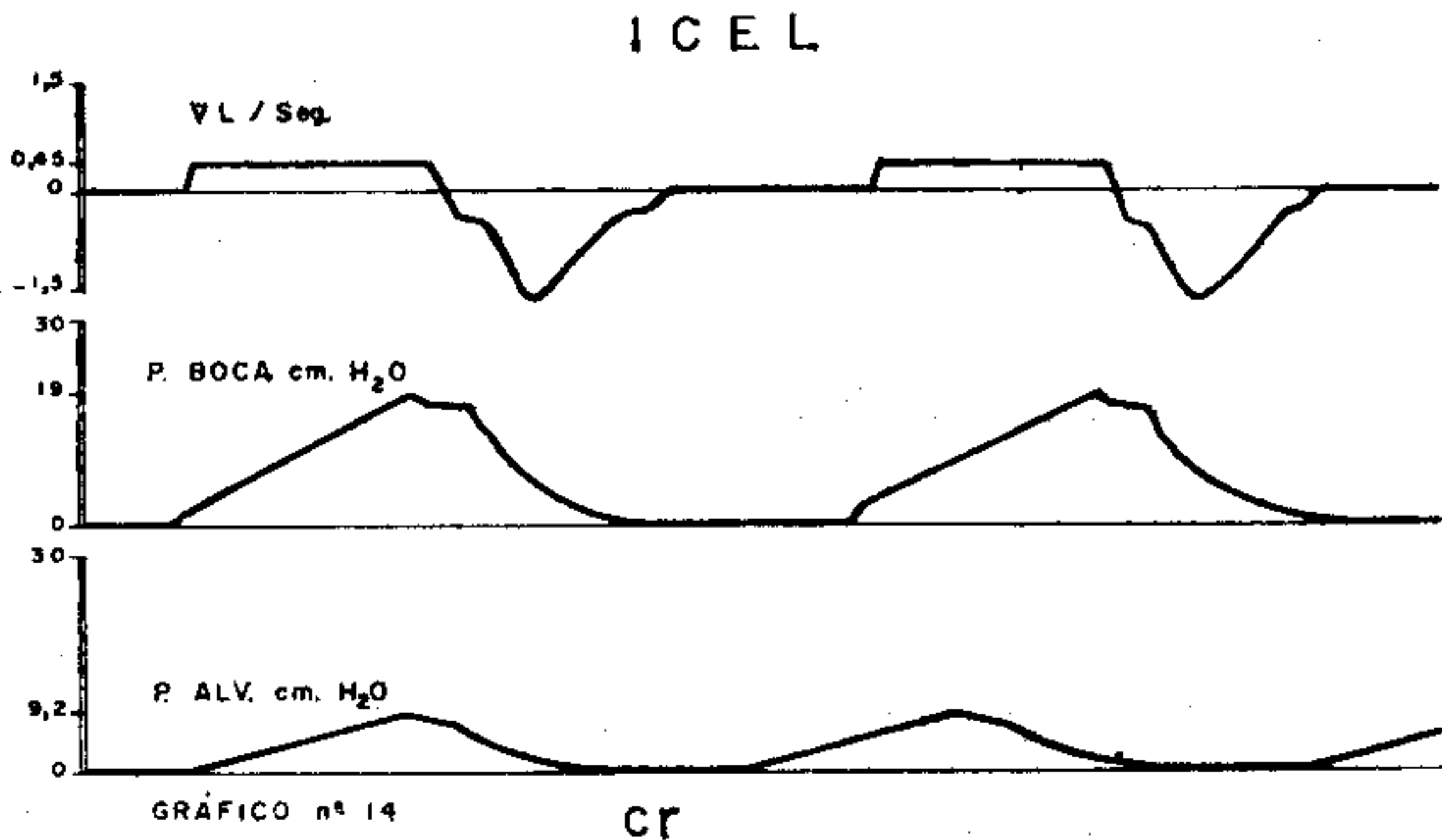


GRAFICO 14

cr — Compliância pulmonar reduzida e resistência da via aérea normal

I C E L

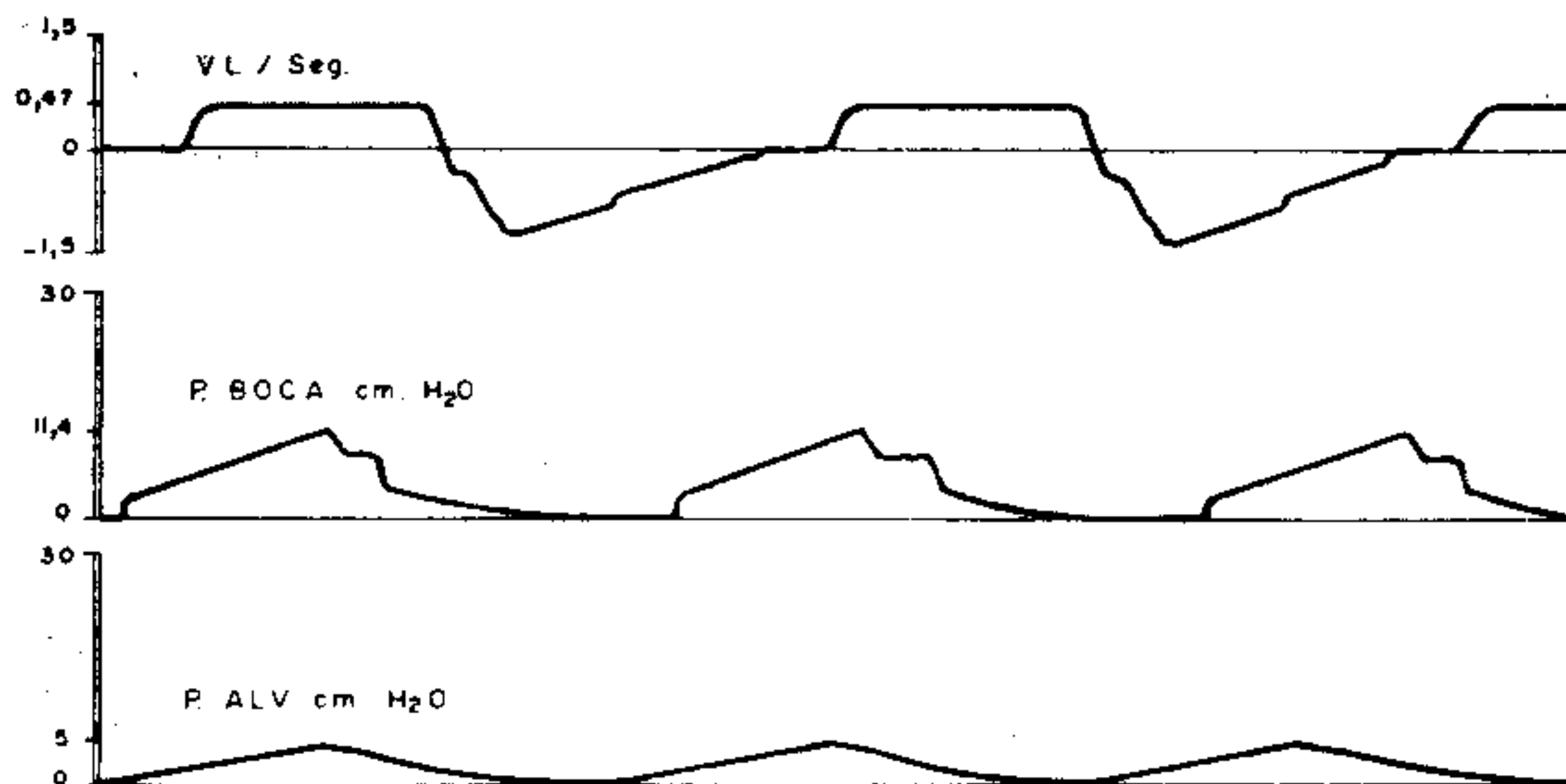


GRÁFICO nº 15

CR

GRAFICO 15

CR — Compliância pulmonar normal e resistência da via aérea aumentada

A tabela IV e os gráficos 13 a 16 mostram as variações de fluxo e frequência quando a compliância pulmonar é reduzida e a resistência da via aérea aumentada. Quando a compliância era baixa e a resistência normal "cr", o fluxo

I C E L

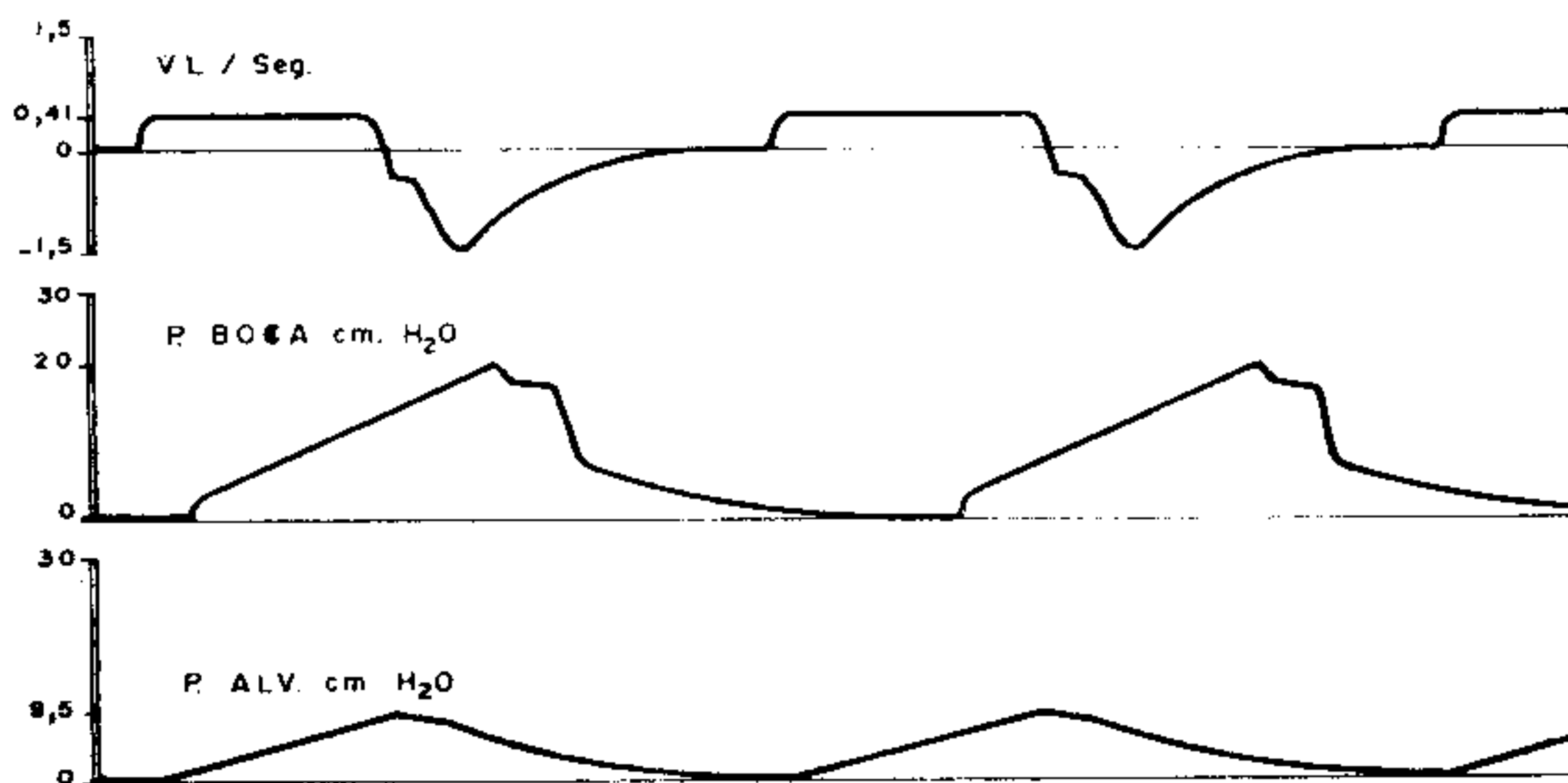


GRÁFICO nº 16

cR

GRAFICO 16

cR — Compliância pulmonar reduzida e resistência da via aérea aumentada

foi um pouco reduzido e a frequência mantida. Em outra situação, compliância normal e resistência elevada "CR", o fluxo não se alterou e a frequência teve tendência a aumentar. Uma nova regulagem, aumentando a fase inspiratória e reduzindo a frequência, poderia insuflar o volume desejado.

TABELA IV

DESEMPENHO DO VENTILADOR ICEL

ICEL	PB cmH ₂ O	PA cmH ₂ O	Ṽ INSP L/seg.	F Ciclo/min	V INSP L/min	Relação INSP/EXP
Vc 800 ml Cr	10,6	5,0	4,477	13,75	11,000	1/1,58
cr	19,0	9,2	0,455	13,75	11,000	1/1,59
CR	11,4	5,0	0,477	14,01	11,208	1/1,60
cR	20,0	9,5	0,441	14,01	11,208	1/1,54z

Cr — Compliância pulmonar normal e resistência da via aérea normal
 cr — Compliância pulmonar reduzida e resistência da via aérea normal
 CR — Compliância pulmonar normal e resistência da via aérea aumentada
 cR — Compliância pulmonar reduzida e resistência da via aérea aumentada

Este ventilador parece ventilar bem qualquer paciente com pulmão normal ou resistência da via aérea aumentada. Tem dispositivo que pode ciclar ao esforço do paciente, o que lhe permite assistir a respiração.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos aos alunos do curso médico, bolsistas do SNPq, Tereza Christina Corrêa Ribeiro e Dulce Gomes da Costa, pela considerável colaboração durante os experimentos. Agradecem também de modo especial ao aluno Deusli-dório Pereira Franco, de saudosa memória, pela inestimável dedicação na montagem do analógico pulmonar.

SUMMARY

FUNCTIONAL AVALUATION OF BRAZILIAN AUTOMATIC VENTILATORS

A study was done on the Brazilian automatic ventilators: Takaoka 660/855, Ventilotec, Narcofolex, and Icel. All of them were designed and produced between 1973 and 1976. They were used on an experimental model which represents various situations of the lungs and airway: 1. normal lung compliance and normal airway resistance; 2. pulmonary restrictive pathology, low compliance and normal resistance; 3. pulmonary obstructive pathology, normal compliance and high resistance; 4. mixed pulmonary pathology, restrictive and obstructive, low compliance and high airway resistance.

The lung analogue consisted in two parallel glass recipients interconnected by a system of tubes which also connect the ventilator to be studied. Compliance an

resistence of the system were calculated in normal conditions. The blockade of one lung reduces compliance to half of its value. Decreasing the internal diameter of the air way increases resistency.

Takaoka 660/855, and Icel presented an excellent permomance with high resistency of airway, When compliance was low, there was e tendency to decrease the flow increase the frequency and extend the expiratory phase. These slight alterations can be correted by a new adjustment in the ventilators.

Ventilotec is different from the other ventilators studied. Good performance was obtained when compliance was low, however this did not occur with high airway resistency.

Performance of Narcofolex was quite satisfactory. It had very good performance with high airway resistency, and when compliance was low, there was only a tendency to increase the frequency.

REFERÊNCIAS

1. Mushin W W, Rendell-Baker L, Thompson P W, Mapleson W W — "Automatic Ventilation of the Lungs", Blackwell Scientific Publications, Second Edition, 1969 — Oxford.
2. Lyager S — "Influence of flow pattern on the distribution of respiratory air during intermittent positive pressure" "Ventilation". Acta Anaesth Scand, 12:191-211, 1968.
3. Norlander O, Herzog P, Norden I, Hosaly G, Schaer R, and Gattiker R — "Compliance and airway resistance during anaesthesia with controlled ventilation", Acta Anaesth Scand 12:135-152, 1968.



25.º CONGRESSO BRASILEIRO DE ANESTESIOLOGIA CONGRESSO JUBILAR

O 25.º CONGRESSO BRASILEIRO DE ANESTESIOLOGIA será realizado na cidade de Porto Alegre, de 25 de novembro a 1.º de dezembro de 1978.

O tema central a ser desenvolvido no evento é "**A Realidade da Anestesiologia Brasileira**", onde se procurará correlacionar e ajustar o progresso da Anestesiologia com as realidades sócio-econômicas da época em que estamos vivendo no Brasil.

Todos os colegas que prestigiarem este acontecimento com sua presença terão uma ampla visão desse tema de inegável importância atual ao mesmo tempo em que gozarão da tradicional hospitalidade gaúcha.

Maiores informações poderão ser obtidas na Secretaria Geral do Congresso, à Rua Santos Neto, 247 — fone: 21-5108. 90.000 — Porto Alegre — RS.