

# スパイロメトリ Chart エクステンション

このアプリケーションノートはスパイロメトリChartエクステンションとADInstruments社製のスパイロメータとフローヘッドを使用して、呼吸生理学の簡単な実験を行う方法について説明しています。

R. D. Purves、ADInstruments社

## はじめに

ADInstruments社製スパイロメータとフローヘッド

を併用すると呼吸のフローレートに比例する信号を出力するpneumotachometerと同様の機能を果たします。Spirometryエクステンションは精度を向上させるために様々な補正を適用して生信号を処理し、2つのChartチャンネルでキャリブレートされたフローとボリュームのトレースをディスプレイします。

volume VはflowシグナルFを積分することにより求められます。従って $V = \int F dt$ となります。その他のスパイロメトリック方式と同様に、Vは相対肺活量で、絶対量ではありません。ゼロレベルは暫定です。

一定量の呼吸量に関して、このエクステンションでは呼吸パラメータを演算できます：

$V_E$	呼吸毎分換気量
$V_T$	一回呼吸量
f	周波数
PIF	ピーク吸気流量
PEF	ピーク呼気流量
FVC	強制肺活量
FEV <sub>1</sub>	1秒間の強制呼気量

このエクステンションではflow-volumeプロットとSpirometry Dataウィンドウがディスプレイされ、このウィンドウにはPIF、PEF、FVC、FEV<sub>1</sub>の位置が示されるので、実習用に便利です。

Spirometryエクステンションがインストールされると、ChartメニューにSpirometryメニューが追加される(図1)、各Channel Functionポップアップメニューの演算部分に2つのアイテムが追加されます(図2)。

Spirometryエクステンションの全セッティングはChartセッティングファイルの一部としてディスクに保存されます。セッティングはまたChartデータ

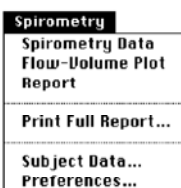


図 1. Spirometryメニュー。

ファイル内のデータと共に保存され、どちらの場合もファイルが開くとそのセッティングは自動的に復帰します。

## 注意事項

このエクステンションは肺機能の臨床検査用には設計されていません。

## 必要な装置

- Chartソフトウェア (バージョン3.5.4またはそれ以降のもの) とSpirometryエクステンションを搭載したMacLab(またはPowerLab)ユニット (モデル指定なし)。
- ML140 スパイロメータフロントエンド
- MLT300L、MLT1000L、またはMLT3813フローヘッド
- MLA1000 マウスピース、MLA304 ドロップレットフィルタ、MLA1011 zチューブ
- MLA1008 ノーズクリップ

フローヘッドを通して呼吸したエアは流量に比例して減圧を生じる細かいメッシュを通過します。チューブはフローヘッドからスパイロメータの差動圧カトランスジューサへ差動圧力を送ります。トランスジューサの作動範囲は $\pm 12.5$  cm H<sub>2</sub>O (9.3 mmHg; 1240 Pa)です。

ハイフローでは比例性が失われます。MLT300Lフローヘッドの通常最大フローレートは300 L/minです (ソフトウェアのノンリニア補正により約450 L/minまで拡大できます。被験者が休息している場合の人体の実験に最適です。運動生理学研究や強

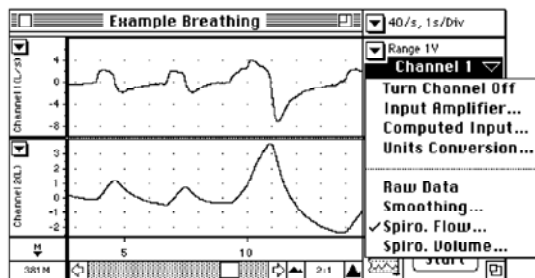


図 2. ChartウィンドウのChannel 1のポップアップメニュー。

Spirometryエクステンションには2つのアイテムが追加されます。Spiro. Flow...とSpiro. Volume...です。

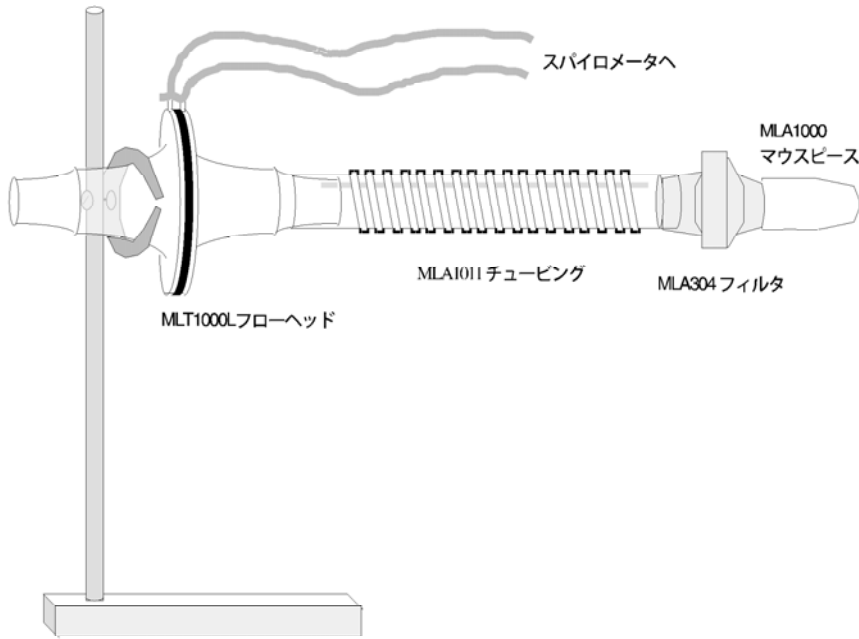


図3. チュービング、ドロップレットフィルタ、マウスピースを備えたフローヘッド。

制呼吸には大きめのフローヘッドが必要です。MLT1000LでもMLT3813でもどちらでも可能です。

スパイロメータとフローヘッドの代わりに他社製のpneumotachometerを使用することも可能です。

### 設定条件

#### フローヘッド

MLT300Lフローヘッドは手で支えることができます。より大きいサイズで、高価なフローヘッドはベンチスタンドに固定してください。(図3)。

スパイロメータを使用する場合、被験者による呼吸気がすべて測定されなければ有益な結果を得ることができません。ノーズクリップを使用することにより不注意な鼻呼吸を防ぐことができます。少しの練習により、被験者は空気が漏れないようにマウスピースを扱えるようになります。

#### スパイロメータ

「スパイロメータオーナーズガイド」の説明に従ってスパイロメータとフローヘッドを接続してから、ChartをスタートするとSpirometer Amplifierダイアログボックスが表示されます(図4)。フローヘッドに呼吸している間、レンジ設定を調節してください。これにより強制呼吸は大きく変動してもリミットを超えません。安定した呼吸は小さいけれど認識しやすい変化として表示されます(レンジの5-10%)。

Spirometryエクステンションでは吸気フローは上向

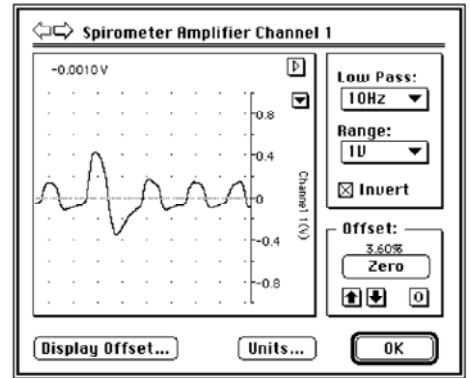


図4. Spirometer AmplifierダイアログボックスでMLT300Lフローヘッド用の推奨設定が示してあります。トレースの上向きふれは吸気フローを表わします。ローパスフィルタは10 Hzが推奨設定です。

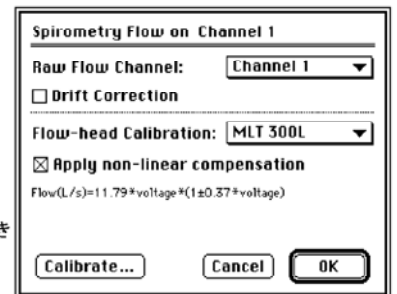


図5. Spirometry Flow ダイアログボックス。フロー信号は生のスパイロメータ信号に置き換えてChannel 1に表示されます。

き(正)のふれとして表示されます。スパイロメータの信号が逆極性の場合、以下のいずれかの方法により反転できます; フローヘッドを逆にする、2本のプレッシャーチューブをフローヘッドまたはスパイロメータへのどちらかの接続部分で交換する、ダイアログボックスでInvertチェックボックスをクリックする(図4)。

使用直前にスパイロメータをゼロにしてください。これは設定準備において大変重要なステップです。『付録A』ではゼロイングの重要性とスパイロメータドリフトを減少させるヒントについて説明しています。また不正確なゼロイングで実行された記録の補正方法についても解説しています。

#### スパイロメトリフロー

Channel FunctionポップアップメニューからSpiro.Flow...を選択するとSpirometry Flowダイアログボックスが表示されます(図5)。このダイアログボックスのRaw Flow Channelポップアップメニューでスパイロメータに接続する入力チャンネルを選択します。スパイロメータからの生電圧信号が不必要なので、通常はスパイロメータのチャンネルのフローシグナルを図5の様に表示します。

最適なフローヘッドをFlow-head Calibrationポップアップメニューで選択してください。この選択により自動的に電圧信号をフロー(L/s)に変換するリニアキャリブレーションファクタのためのデフォルト値が与えられます。MLT300Lフローヘッドが選択さ

れている場合、2乗係数が変換に含まれています。これはノンリニア補正のためのもので、使用できるレンジが約8 L/s (480 L/min)まで拡大します。他社製のpneumotachometerをご使用の場合は、ポップアップメニューでCustomアイテムを選択してください。

Drift Correctionチェックボックスは通常はオフにしておいてください。詳細は『付録A』を参照ください。

Calibrateボタンを使用すると各フローヘッドが補正できます。『付録C』を参照ください。

### スパイロメトリボリューム

Channel FunctionポップアップメニューからSpiro. Volume...を選択するとSpirometry Volumeダイアログボックスが表示されます(図6)。Spiro. Flow Channel ポップアップメニューではSpirometry Flowがディスプレイされるチャンネルを指定します;これにより現フロー信号は積分され体積となります。このダイアログボックスもボリューム補正用のチェックボックスとその他のコントロールを持っています。これに関しては『付録B』で説明しています。Volume Correctionチェックボックスがオフであることが簡単に確認できます。

### 連続記録

1つのチャンネルをフローチャンネルに、別のチャンネルをボリュームチャンネルに指定した後、これらの変数の連続記録をChartのStartボタンをクリックして通常の方法で行います。推奨サンプリング速度は20、40、100/sです。

ボリュームトレースの各記録ブロックのスタート点をゼロに設定してください。変動のせいでトレースがオーバフローリミットに達したら、リセットされます。

### 多呼吸記録でのセレクション

解析を行う場合、Chartウィンドウで関心のある呼吸を含むタイムレンジを選択するようにドラッグし(図7)、Spirometryメニューから適したコマンドを選択すべきです。Spirometryエクステンションは任意のセレクション部分のタイムレンジのみを使用し、垂直方向成分を無視します。タイムレンジを決定するにはチャンネル(複数のチャンネルでも)でセレクションが1部分あれば十分です。

このエクステンションは解析を実行する前にセレクション全体から不完全な呼気と吸気を除去します。

### スパイロメトリデータ

Spirometry Dataウィンドウではフロープロットとボリュームプロットのための短い縦線でマークされるハーフ呼吸サイクルの積分値から成る現行セレクションを表示します。呼吸サイクルはフローがSpirometry Preferencesダイアログボックス(図

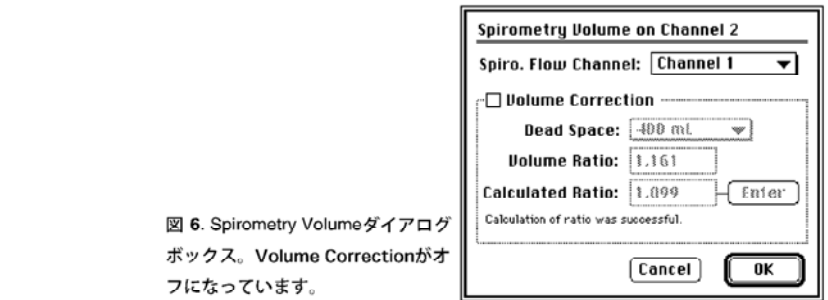


図 6. Spirometry Volumeダイアログボックス。Volume Correctionがオフになっています。

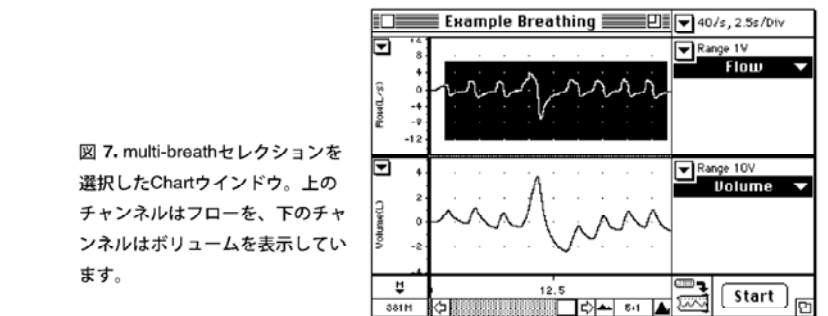


図 7. multi-breathセレクションを選択したChartウィンドウ。上のチャンネルはフローを、下のチャンネルはボリュームを表示しています。

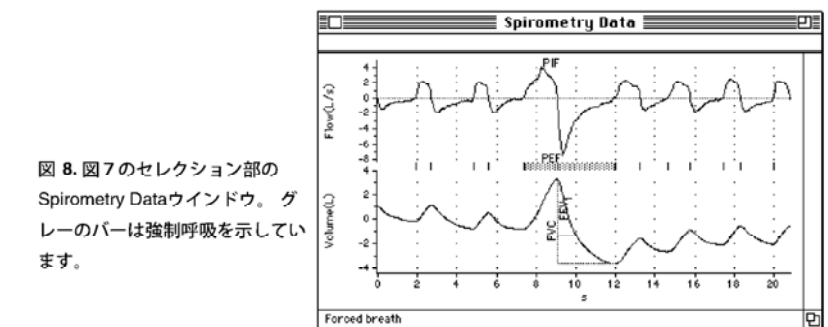


図 8. 図7のセレクション部のSpirometry Dataウィンドウ。グレーのバーは強制呼吸を示しています。

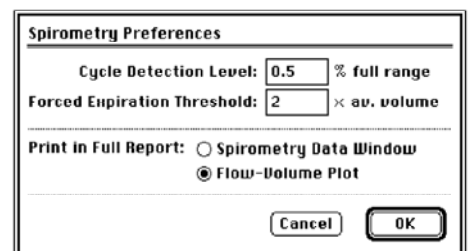


図 9. Preferencesダイアログボックス。Cycle Detection Level はフローチャンネルで呼吸サイクルを検出するための感度を制御します。Forced Expiration Threshold は多呼吸データセレクションの強制呼吸動作の検出を制御しています。

9) で設定したレベルを越える(上下共に)時に検出されます。通常0.25-1%の値で十分です。設定値が小さすぎる場合は、ゼロ付近の微小なフローの変動が誤って呼吸として検出されてしまいます。

Reportで与えられた様々な呼吸パラメータの値はSpirometry Dataウィンドウ上の表示レベルや付加

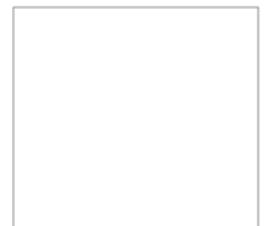
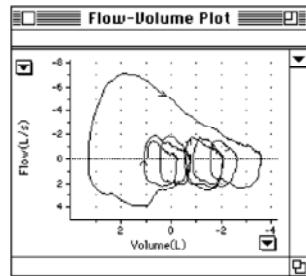


図10. Flow-volume プロット。長い対角線部分は強制呼気で、この形は呼吸中のフローレイトの指数減少を反映しています。右上のポップアップメニューでは方向矢印しをプロット上に置くことができます。



線として確認できます。かなり大きなファクタによりその容量が平均呼気容量を超える呼気が存在する場合、パラメータFEV<sub>1</sub>やFVCが表示されます。

Spirometry Preferencesダイアログボックス(図9)でこのForced Expiration Thresholdファクタが設定できます。エクステンションによって強制として認識された呼吸気は水平のグレーバーとして表示されます。

#### Flow-Volume プロット

これはX-Yプロットです(図10)。表示様式としては上部に呼気フロー、右手に減少する肺容量がプロットされます。プロットは自動スケールになっているので、通常は軸スケールを調節する必要はありません。しかし、Scaleポップアップメニューが各軸についています。

#### Report

図11にSpirometry Reportウインドウのフォーマットを示しています。エクステンションによって、強制として認識された呼吸気に関してはf、V<sub>E</sub>、V<sub>T</sub>は演算されません。現行セレクションで演算不可能なパラメータ値は疑問符で表わされます。

#### 強制呼気の記録

強制呼気を記録する場合、連続記録に代わる便利な方法があります。Trigger設定を図12の様に指定すると、被験者がフローヘッドへ息を吐く度にChartは一定の長さのデータブロックを自動的に記録します(図13)。

#### 解析

全時間レンジをドラッグするか、またはChart短縮操作(時間軸エリアをダブルクリックする)を使ってデータブロック全体を選択します。Spirometry ReportにはPEF、FVC、FEV<sub>1</sub>のパラメータのみが表示されます。

#### コピーと印刷

Spirometryエクステンションウインドウのどれかがアクティブである場合、EditメニューのCopyコマンドを選択するとクリップボードにこのウインドウの内容をピクチャーまたはテキストのどちらかふ

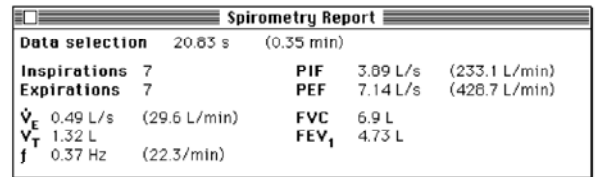


図11. Spirometry Report ウインドウ。

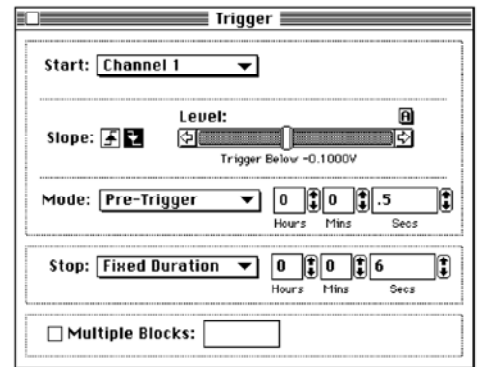


図12. ChartのTriggerダイアログウインドウです。フローチャンネル(Channel 1)から自動的にトリガーするように設定してあります。SlopeとLevelコントロールはフロー(呼気方向への)がフルレンジの10%を超えた時にトリガーされるように設定されています。Pre-Trigger値(0.5s)は呼吸の始まりが記録されたことを確認します。Fixed Duration値(6s)は全呼吸を記録するに十分な記録間隔を持続します。

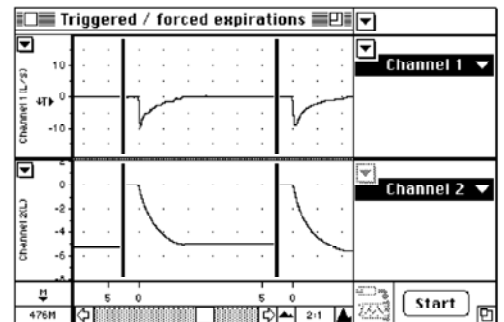


図13.自動的に記録された強制呼気。図12の様にTriggerダイアログボックスが設定されたものです。

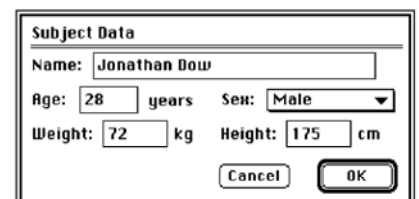


図14. Subject Data ダイアログボックス。これらのエントリがフルレポートに含まれて印刷されます。

さわしい形でコピーします。同様にFileメニューからPrint...コマンドを選択すると、内容が印刷できます。

SpirometryメニューのPrint Full Reportコマンドを選択すると簡単に被験者データ、Spirometry Reportとプロットがすべて1つのページに印刷できます(図14)。Spirometry Preferencesダイアログボックス(図9)でSpirometry DataプロットまたはFlow-Volumeプロットを選択して、Spirometry Reportに加えることができます。

## 付録 A — スパイロメータオフセットとドリフト補正

このノートでは記録前にスパイロメータをゼロにすることの重要性を強調してきました。ゼロイングによりエアフローが全くない時に記録されたフロー信号がゼロであり、それによって積分値ボリュームトレース(図15)のドリフトが防げることが保証されます。Spirometer入力ダイアログボックスのZeroボタンをクリックするとスパイロメータはゼロになります(図4)。

ゼロイングと使用前に約15分間データ収集装置とスパイロメータをオンにしておくとスパイロメータの電子部品の内部ドリフトを最小限に抑えることができます。

電源からの熱を避けるためにMacLab装置の傍、または上部の棚の上にスパイロメータを置くことをお勧めします。

### ドリフト補正

上記の注意事項を遵守したにもかかわらず、スパイロメータのドリフトやオフセットがファイルに著しく記録された場合はソフトウェア補正が適用できます。この補正が適切に行われるためには、各データブロックはゼロエアフローの期間で開始、終了されるべきです。Drift Correctionを設定するにはSpirometry Flowダイアログボックスのチェックボックスをオンにしてください(図5)。

Drift Correctionがオンになると、フローデータブロックの最初と最後の10ポイントは平均化され、直線のベースラインが計算され、ブロックのスタート点と終了点の両方で補正フローゼロが適用されます。ゼロとかけ離れたポイントがある場合(フルレンジの2.5%以上)、補正は適用されません。

### 付録 B — 容量補正

通常の気圧条件では呼気量は吸気量よりも大きくなり、温度と湿度の上昇により大体5-10%増加します。このため、スパイロメータが正確にゼロイングされている場合でさえ、ボリュームトレースに呼吸依存性の変動があります(図16の真ん中のトレース)。多くの呼吸の後に、ボリュームトレースはオーバーフローとなり、ゼロにリセット

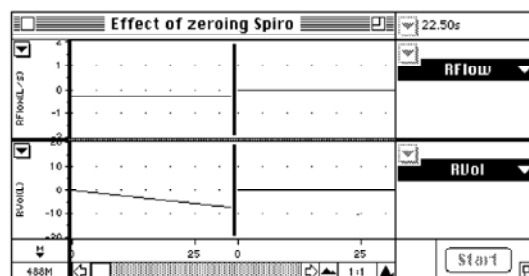


図15. エアフローのないフロとボリュームトレース。最初のブロック(左側)ではSpirometerはゼロイングされていないので、ボリュームトレースはかなりドリフトがみられます。

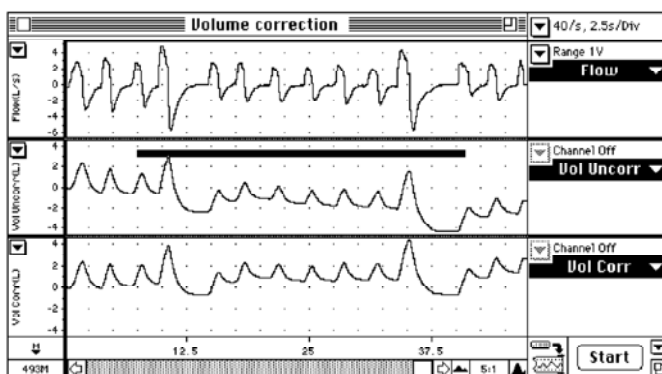


図16. 呼吸依存性の変動。上のトレース: フロー。真ん中のトレース: 呼吸でのドリフトを示す補正前のボリューム。セレクションは1ペリオドの正常呼吸によって分けられた2回の完全呼吸を含むセレクションが選択されています。下のトレース: 補正ボリューム。

されます。

単にフロー積分値へ変更することで呼気量の計算結果を大幅に改善できます。

$$V = \int F dt \quad (\text{吸気})$$

$$V = \int F/k dt \quad (\text{呼気})$$

この $k (>1.0)$ はボリューム補正率です。しかし、この方法では浅速呼吸が過剰補正されてしまいます。このエアは殆ど澱んだ状態でエアが通過する状態に至らないからです。Spirometryエクステンションでは積分演算の間、エアの澱み状態を個別に捕えてより細かな補正を適用します:

$$V = \int F dt \quad (\text{吸気、又は呼気での澱み状態})$$

$$V = \int F/k dt \quad (\text{呼気での澱み状態を超えた場合})$$

フローヘッドのメッシュスクリーンを通過したエアフローの不適正な分布もまた呼吸依存性の変動の要因と思われる。従って、実際に必要なボリューム補正ファクタは通常気体の法則により計算されたものよりも大きくなります。この変動成分は図3に示したチューピングとドロップレットフィルタを使用することで極小化できます。

## Trademarks

MacLab は ADInstruments Pty Ltd. の登録商標で、Chart と Scope は同社の商標です。その他の商標はすべてそれを保有する各社に帰属します。

## Addresses

### ADInstruments Japan

〒101  
東京都千代田区岩本町  
2-10-1  
オカジマビル  
Phone (03) 5820-7556  
Fax (03) 3861-7022  
Email: adjapan@po.ijnet.or.jp

販売総代理店  
バイオリサーチ  
センター株式会社

〒461  
名古屋市東区泉  
2-28-24  
ヨコタビル  
Phone (052) 932-6421  
Fax (052) 932-6755  
Email: brc@po.ijnet.or.jp

東京支店  
Phone (03) 3861-7021  
Fax (03) 3861-7022

### マニュアルによる補正

Volume Correction チェックボックスをオンにしてから Spirometry Volume ダイアログボックスに Volume Ratio( $k$ )の値をマニュアルで設定します (図17)。Dead Spaceの値は重要でなく、ほとんどの場合デフォルト値(400 mL)で問題ありません。ポップアップコントロールで変更できます。

### 演算補正

このエクステンションではデータセレクションから自動的に $k$ の値を演算します。セレクションには一回の呼吸、1ペリオド(20-60 s)の正常呼吸(浅速呼吸を含む)、更に一回の呼吸が含まれているべきです (図16)。

Spirometry Volume ダイアログボックスを表示すると、エクステンションはセレクションの最初と最後の3分の1の部分に最小値を確認し、その値が等しくなるように $k$ の値を演算します。セレクションの最初の3分の1で一回完全呼吸を、最後の3分の1で一回完全呼吸をすることが大事です。これらの呼吸は肺容量が等しくなると思われるリファレンスポイントを提供します。

$k$ の演算値を利用するにはEnterボタン(図17)を使ってください。

### 付録C— キャリブレーション

ADInstruments社の各種フローヘッドのデフォルトキャリブレーション係数はSpirometry Flowダイアログボックスに表示されていますが、これはいくつかのサンプルから得られた平均値です。キャリブレーションの精度は通常の授業等の目的には十分なものです。キャリブレーションをより高精度にしたい場合は既知のエアーボリュームをフローヘッドに通過させるとキャリブレーションはより高精度になります。

最初にSpirometerインプットダイアログボックス (図4)のZeroボタンをクリックしてスパイロメータがゼロであることを確認してください。記録を開始してから、数秒の間フローヘッドから両方向に既知数のエアー(大型フローヘッド用1-3 L、小動物フローヘッド用50-100 mL)を流します。キャリブレーションエアーソースとしては特製スポンジ、水圧エアーフロージェネレータ、ベルスパイロメータをご使用ください。

記録を停止してから、全インジェクションを含むChartウインドウの時間レンジを選択してください (図18)。Spirometry Flowダイアログボックス (図5)を表示して、Calibrateボタンをクリックしてください。Flow-head Calibrationダイアログボックスで注入エアー量を入力してから、OKボタンをクリックしてください (図19)。

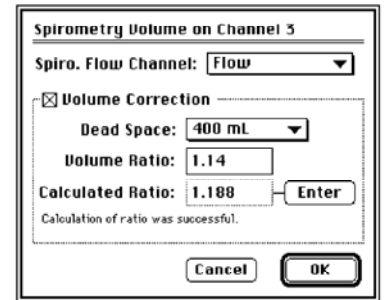


図17. Spirometry Volume ダイアログボックスでVolume Correctionがオンになっています。ボリューム率の値(1.188)はエクステンションで演算され、図16の選択データを補正しています。OKボタンをクリックすると現在の比率(ここでは1.14)が適用されます。別の値をマニュアルで入力することやCalculated RatioのEnterボタンをクリックして、演算値を入力することもできます。

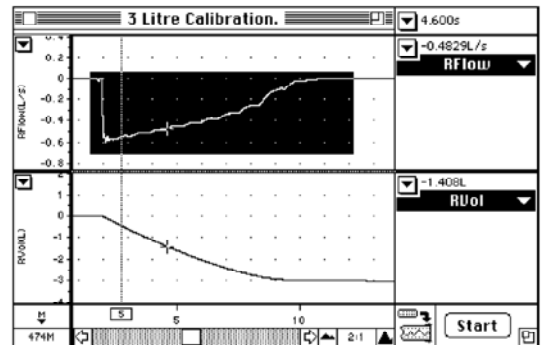


図18. キャリブレーション。Chartウインドウの上(フロー)のチャンネルでは数秒間3Lのエアーが注入されたことを表示しています。インジェクションの全過程(ゼロフローからゼロフローまで)が選択されています。

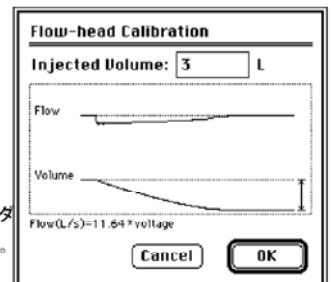


図19. Calibrationダイアログボックス。