正誤表

「臨床工学ライブラリーシリーズ２　生体物性／医用機械工学」におきまして，誤りがございました．謹んでお詫び申し上げますとともに，以下のように訂正いたします．

頁数	誤	正
p.145 下から1行目の (7)式	$a=\dfrac{d^2v}{dt^2}$	$a=\dfrac{d^2x}{dt^2}$
p.178 図5の説明文	表面積が等しければ半径と圧力は反比例する.	張力が等しければ半径と圧力は反比例する.

訂正した 145 ページ，178 ページを，以下に掲載いたします．

は関係しない量である．

速度も変位と同様，大きさ(速さ)と方向をもったベクトルである．したがって，速度の変化しない運動すなわち，**等速度運動**は速さも向きも変わらない運動ということになり，等速直線運動ともいう．

速度の大きさは単位時間当たりの変位として表れる．向きは変位の向きと同じである．

速度は時間と変位から次のように決めることができる．はじめの時間を t_1，位置を x_1，変位後の時間を t_2，位置を x_2 とする．このときの平均速度は，

$$v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \qquad (1)$$

となる．t_2 を t_1 に限りなく近づけるとこの間の変位も小さくなるが，速度は時刻 t_1 の時点の瞬間的な速度となる．$x_2 - x_1 = \varDelta x$，$t_2 - t_1 = \varDelta t$ とすると，

$$v\,|_{t_1} = \lim_{\varDelta t \to 0} \frac{\varDelta x}{\varDelta t} \qquad (2)$$

となる．$\varDelta x$，$\varDelta t$ は微小変化に対して dx，dt と表記し，

$$v = \frac{dx}{dt} \qquad (3)$$

として与えることができる．単位は［m/s］である．この式はある時点での位置を示す x を時間 t で微分したことを意味する．微分とは小さな変化を別の小さな変化で除したものであるが，分母，分子はいずれも元の単位系をもつ．数学としての微分・積分が不得意ならなおさら物理的な概念で理解することを勧めたい．

位置を時間で微分すると速度になる．速度が時間的に変化する運動を加速度運動という．加速度とは速度の時間に対する変化の割合のことであり，単位時間に変化する速度で表す．先と同様に，はじめの時間を t_1，速度を v_1，変位後の時間を t_2，速度を v_2 とする．このときの平均加速度 a は，

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \qquad (4)$$

となる．t_2 を t_1 に限りなく近づけ，t_1 の時点の瞬間的な加速度を求めると，$v_2 - v_1 = \varDelta v$，$t_2 - t_1 = \varDelta t$ として，

$$a\,|_{t_1} = \lim_{\varDelta t \to 0} \frac{\varDelta v}{\varDelta t} \qquad (5)$$

となる．$\varDelta v$，$\varDelta t$ は微小変化に対して dv，dt と表記し，

$$a = \frac{dv}{dt} \qquad (6)$$

として与えることができる．加速度の単位は，［m/s^2］である．加速度は速度を微分したものであるので，結果として位置を時間で2回微分(2次微分)したことになる．これを式の形で表すと，

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} \qquad (7)$$

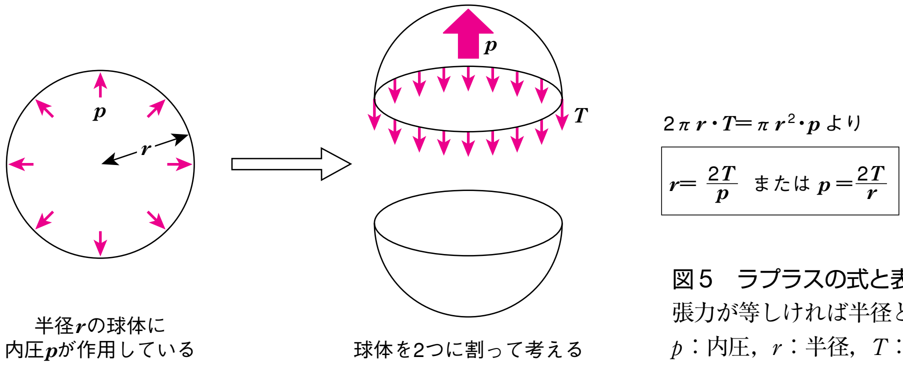

図5　ラプラスの式と表面張力
張力が等しければ半径と圧力は反比例する．
p：内圧，r：半径，T：張力

積が元に戻り，これにつれて肺内から息が吐き出される．胸腔内の陰圧は吸気時と呼気時でおよそ－10～－5 cmH_2O の範囲で変化する．

開胸手術では胸腔内が大気に曝されるため，呼吸筋が動いても呼吸することができない．このため，気道内圧を大気圧より高くする陽圧式の人工呼吸が必要となる．気胸などの疾患によって肺に穴が開いて肺内のガスが胸腔内に出た場合も，胸腔内の適正な陰圧レベルが保たれず呼吸が困難になる．

肺胞は柔らかな袋が房のように連なった構造である．いま簡単に肺が膨らむような説明をしたが，複数の袋が連結した状態で気体が流入したときの現象はそれほど単純ではない．この点について物理的に考察する．

3．表面張力とラプラスの式

3-1　肺胞はなぜ均一に膨らむのか

弾性体でできた袋に圧力が加わると，袋は圧に対応した容積で平衡する．これは袋の表面に働く張力によって圧力による膨らみが抑えられるからである．球体の圧力と張力の関係を**図5**を用いて考える．

内圧が p の弾性体の袋が，半径 r の球状で平衡しているものとする．袋は押し広げられるので，その表面に張力 T が作用している．**図5**に示すように，球体を半分に分割して考える．このとき張力は切った球体の断面の円周上に作用する．したがって上部の球体は下部の球体に $2\pi r \cdot T$ の力で引っ張られていることになる．一方上部の球体は内圧 p によって上方へ押されている．内圧は有効受圧面積（πr^2）に作用するので，押し上げる力は $\pi r^2 \cdot p$ となる．この2つの力のつり合いから，

$$2\pi r \cdot T = \pi r^2 \cdot p \tag{2}$$

が成立する．これを整理すると

$$r = \frac{2T}{p} \quad \text{または} \quad p = \frac{2T}{r} \tag{3}$$

となる．

この式を**ラプラスの式**という．この式から張力 T が一定であると仮定すると，内圧 p と半径 r が反比例することがわかる．

この結果から不思議な現象を説明できる．**図6**は2つの同じ風船を違う大きさに膨