

# 第5章 圧力と循環・呼吸

## 第5章 圧力と循環・呼吸

### 5.1 圧力・流れの基礎

### 5.2 血液循環

### 5.3 呼吸

### 5.4 圧力差を利用した医療機器

## 5.1 圧力・流れの基礎

人体における圧力や流れについて学ぶ

→ 血液循環や呼吸

流れは圧力差によって生じる

→ 流体の運動の関係式

## 力と圧力

単位面積当たりの力 = 圧力  $P$

\* 気体が面積  $S$  の壁を力  $F$  で押している

$$P = \frac{\square \square}{\square \square}$$

圧力  $P$   $\square$ ,  $\square$   
SI単位

$\square$  圧力 : 真空を基準とした圧力, [Pa]

$\square$  圧力 : 大気圧を基準とした圧力, [Pa]

## CHAPTER5 圧力と循環・呼吸

### 5.1 圧力・流れの基礎 (1)圧力と流体

トリチェリの実験 → 大気圧がわかる実験

水銀VS大気圧：トリチェリの実験【字幕解説】 / 米村でんじろう[公式]

5.1 圧力・流れの基礎 (1) 圧力と流体

水銀柱の重力

$$P \text{ [Pa]} = \frac{F}{S} = \frac{\overset{m}{\uparrow} \rho h S g}{S} = \rho h g \text{ [kg} \cdot \text{m/s}^2]$$

図5.1の条件

$$h = 760 \text{ [mm]}$$

$$\rho_{\text{Hg}} = 13.6 \text{ [g/cm}^3]$$

したがって、大気圧は

$$P = 1013 \times 10^2 \text{ [Pa]}$$

と求まる。

図5.1

面積  $S$

$$\text{大気圧 } P = 1013 \times 10^2 \text{ [Pa]} = 760 \text{ [mmHg]} = 1 \text{ [atm]}$$

\*大気が水銀の面全体を押す力  $F_{\text{air}} = P \times (\text{水銀面の面積})$

## 5.1 圧力・流れの基礎 (1)圧力と流体

$$\text{大気圧 } P = 1013 \times 10^2 [\text{Pa}] = 760[\text{mmHg}] = 1[\text{atm}]$$

$$1[\text{mmHg}] = 1[\text{torr}]$$

### 課題

水銀は有毒なため、水を使用してトリチェリの実験を実施した。水柱の高さはいくつになったか。

## 5.1 圧力・流れの基礎 (2)圧力と人体

**通常、人間の身体には常に大気圧が加わっている**

掌の大きさを $100\text{cm}^2$ とすると

$1 [\text{atm}] = 1.034 [\text{kgw}/\text{cm}^2] \doteq 1 [\text{kgw}/\text{cm}^2]$  より

$1 [\text{kgw}/\text{cm}^2] \times 100 [\text{cm}^2] = 100 [\text{kgw}]$

の力が掌には掛かっている

手の甲側も同じ力が掛かっていて釣り合っている

エレベータなどで耳がキーンとする

地上： $P_{\text{外耳}} = (\text{大気圧}) = P_{\text{中耳}}$

高度変化： $P_{\text{外耳}}$  が変化  $\neq P_{\text{中耳}} \Rightarrow$  つばのみなどで外気圧  $= P_{\text{中耳}}$

## CHAPTER5 圧力と循環・呼吸

### 5.1 圧力・流れの基礎 (2)圧力と人体



$$\text{絶対圧} = \text{相対圧} + 760 \text{ mmHg}$$

## 5.1 圧力・流れの基礎 (3)圧力と流れ

- 連続の式（質量保存則）
- ベルヌーイの定理（エネルギー保存則）
- 層流と乱流
- レイノルズ数（慣性力と粘性力の比）
- ポアズイユの法則（粘性による速度分布）

## 5.1 圧力・流れの基礎 (3) 圧力と流れ

- **連続の式** (質量保存則)
- **ベルヌーイの定理** (エネルギー保存則)
  - ⇒ 理想流体の運動の関係式を立てる
  - ⇒ **流体の運動が分かる** (血液の流れ, 点滴)
- 層流と乱流 (理想と**現実の流れ**の分類)
- レイノルズ数 (慣性力と**粘性力**の比)
- ポアズイユの法則 (**粘性による速度分布**)
  - ⇒ より**現実的な流体の運動**を見積もれる

## 5.1 圧力・流れの基礎 (3) 圧力と流れ

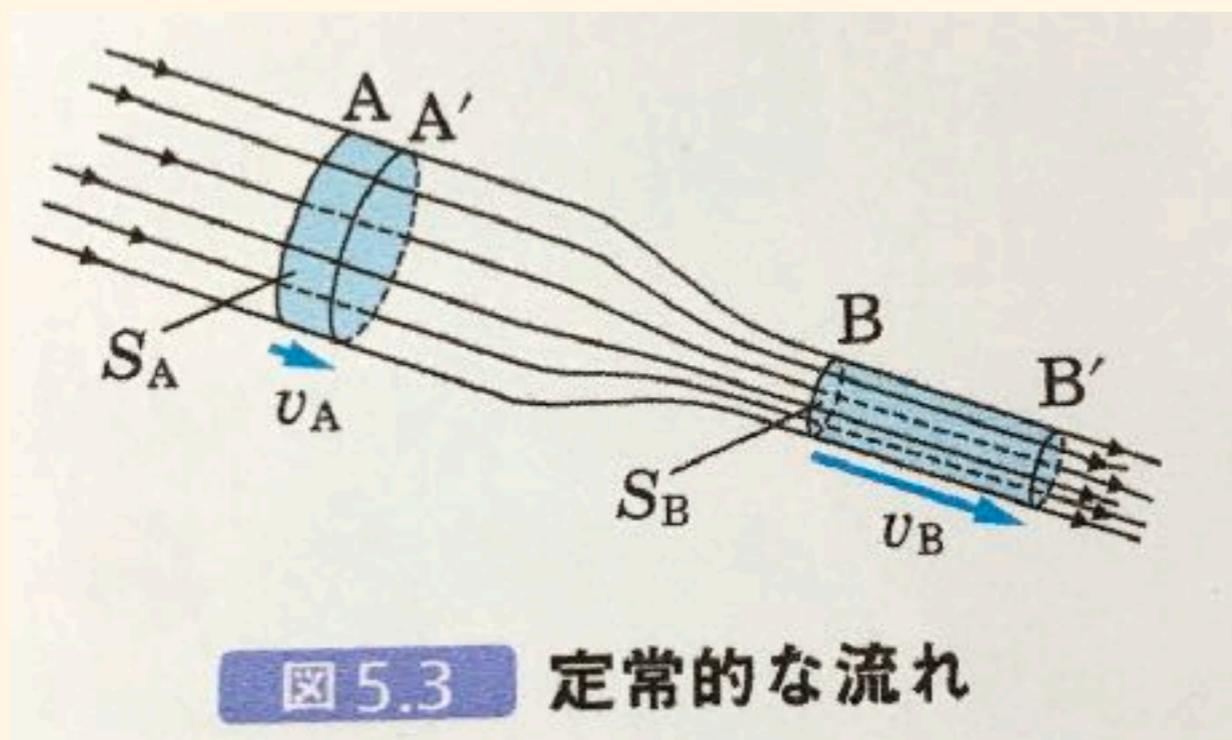
### ・連続の式 (質量保存則)

理想的な流体 (一番簡単なモデル) について考える

⇒ 常に同じ運動をしている

\*いつ写真を撮っても同じ

⇒ 定常な流れ



単位時間あたりに通過する  
質量は保存される

$$\rho S v = \text{一定}$$

\*途中でいなくなったり合流もしない

## 5.1 圧力・流れの基礎 (3)圧力と流れ

- ベルヌーイの定理 (エネルギー保存則)

重力下での流体 \*重力に逆らって流れない  
⇒ 高さの情報が必要

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{一定}$$

圧力      運動      位置  
(静圧)   (動圧)   (重力)

単位体積当たりのエネルギーは保存される

5.1 圧力・流れの基礎 (3) 圧力と流れ

・ 層流と乱流 (現実的な流れ)

理想的な流体 ⇒ 定常な流れ

\*いつ写真を撮っても同じ

現実的な流体 ⇒ 非定常な流れ

\*写真を撮ると同じ事はない



定常流れ



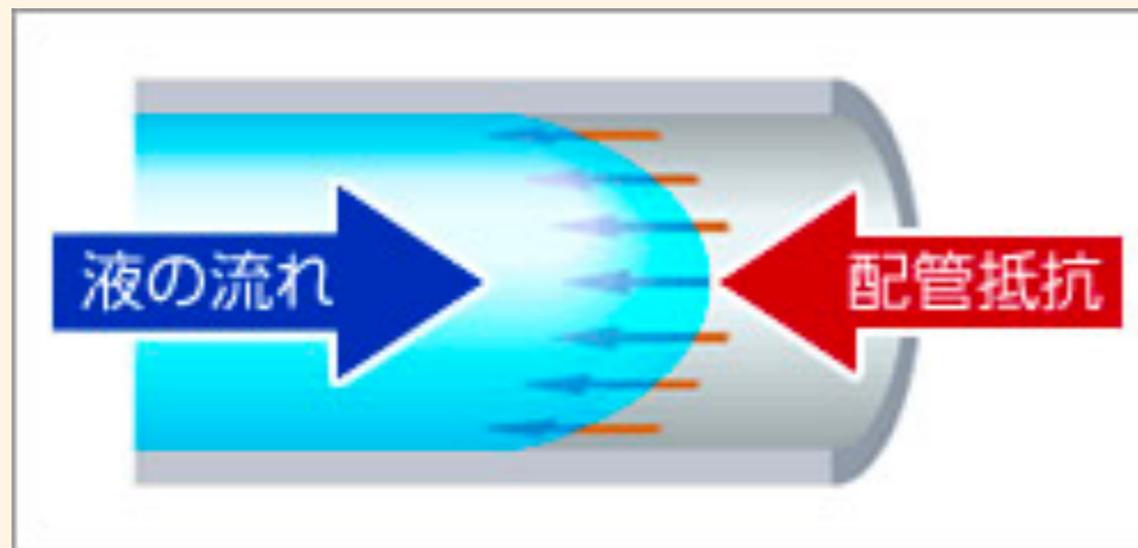
非定常流れ

## 5.1 圧力・流れの基礎 (3)圧力と流れ

### ・層流と乱流（現実的な流れ）

理想的な流体 ⇒ 定常な流れ \*いつ写真を撮っても同じ

現実的な流体 ⇒ 非定常な流れ \*写真を撮ると同じ事はない



流れを妨げる力がある状態を考える

流れる運動を続ける ⇒ 慣性力

流れを妨げる ⇒ 抵抗力

## 7.2 層流から乱流への遷移

Laminar flow, Turbulent flow by Reynolds Experiment

## 5.1 圧力・流れの基礎 (3) 圧力と流れ

### ・ 層流と乱流 (現実的な流れ)

流速を上げると定常な流れ ⇒ 非定常な流れ

\*いつ写真を撮っても同じ

\*写真を撮ると同じ事はない

層流

乱流

流れを妨げる力 (流速に比例)

流れる運動を続ける ⇒ 慣性力

流れを妨げる ⇒ 抵抗力

$$\text{レイノルズ数 } Re = \frac{\text{kansei}}{\text{nensei}} = \frac{\rho v L}{\eta}$$

層流/乱流を見分けることができる(モデルの選択)

5.1 圧力・流れの基礎 (3)圧力と流れ

・レイノルズ数

$$Re = \frac{\text{kansei}}{\text{nensei}} = \frac{\rho v L}{\eta}$$

$\rho$  : 密度

$v$  : 流速

$L$  : 特性長/代表長

$\eta$  : 粘性係数

Re>2300から乱流

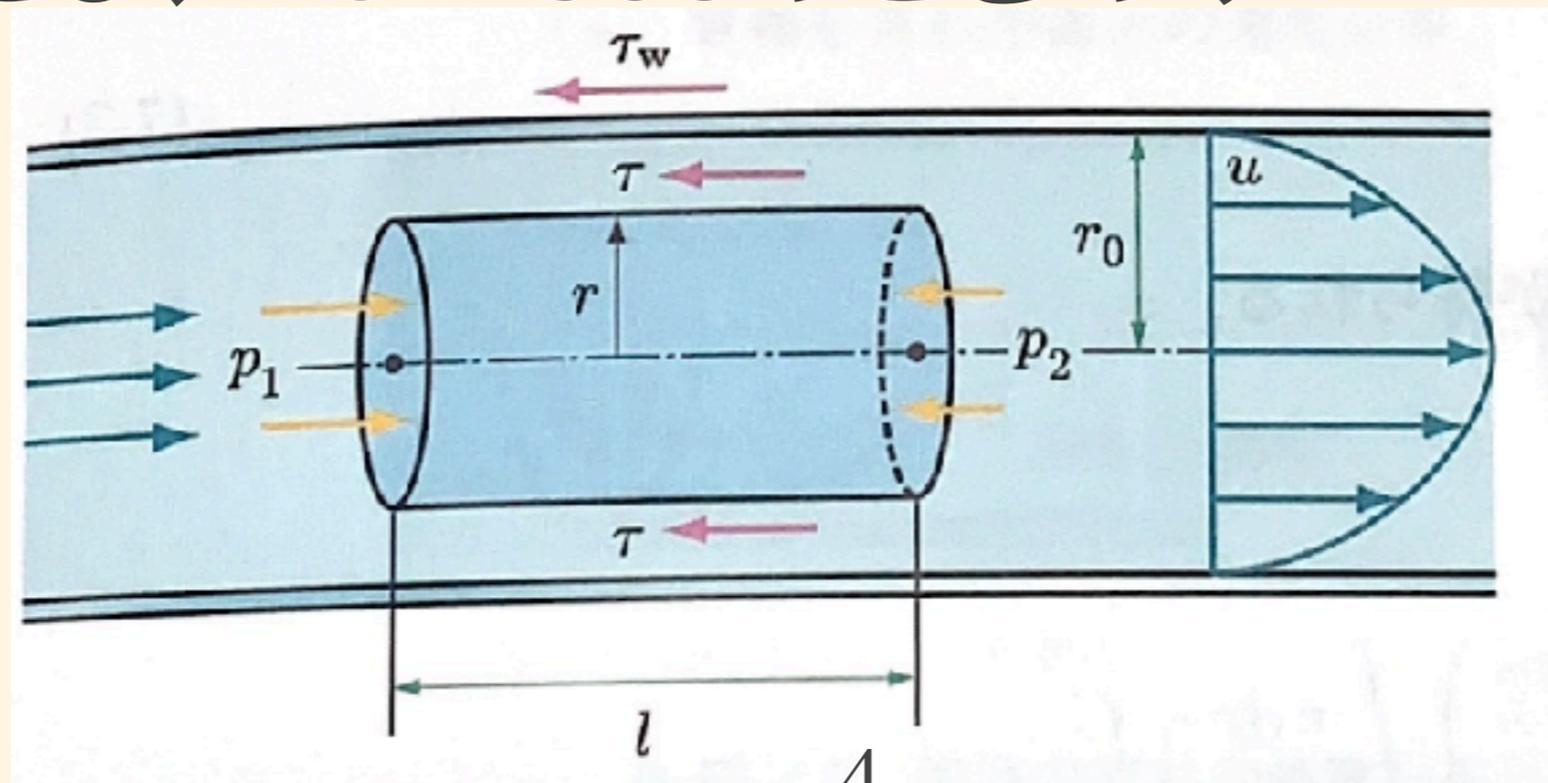
表5.2

表5.3

5.1 圧力・流れの基礎 (3) 圧力と流れ

・ **ポアズイユの法則** (粘性による速度分布)

粘性は抵抗力なのでどれくらいの流体が運ばれるかなどのモデルでは考慮が必要  
ただし、 $Re < 2300$ のときのみ



$$\text{流量 } Q = \frac{\pi r^4}{8l\eta} (P_1 - P_2)$$

層流であれば粘性があってもこのモデルで流量が求まる

# CHAPTER5 圧力と循環・呼吸

## 5.2 血液循環 (3) 血圧測定

- 水銀血圧計 \*2021年以降製造輸入輸出禁止
- 聴診法



抑える → 流れない → 音しない  
緩めていく → 乱流 → 音がする  
そのうち → 層流 → 音しない

音が始まる血圧：最高血圧  
音が消える血圧：最低血圧

## 5.4 圧力差を利用した医療機器 (1)点滴

### • 点滴静脈注射（点滴）

50mL以上の薬剤の注射で使用

#### 注意点

- 最後まで注入されるか
- 血液が入らないか
- 空気が入らないか

図5.14

静脈の血圧（6~15 mmHg）以上の圧力が掛かっていればよい

10 cmH<sub>2</sub>O = 7.3 mmHg であるので  
15 mmHg であれば20cm以上の高さ

⇒ 0.5~1m高い位置に吊り下げる

## 5.4 圧力差を利用した医療機器 (1)点滴

### • 点滴静脈注射 (点滴)

50mL以上の薬剤の注射で使用

#### 注意点

- 最後まで注入されるか
- 血液が入らないか
- 空気が入らないか

輸液ボトルの素材による違い

- プラスチックバック  
変形し常に大気圧が掛かる
- 硬いボトル  
中が陰圧(負圧)になり流量が減る  
→通気針を上部に刺し大気圧にする

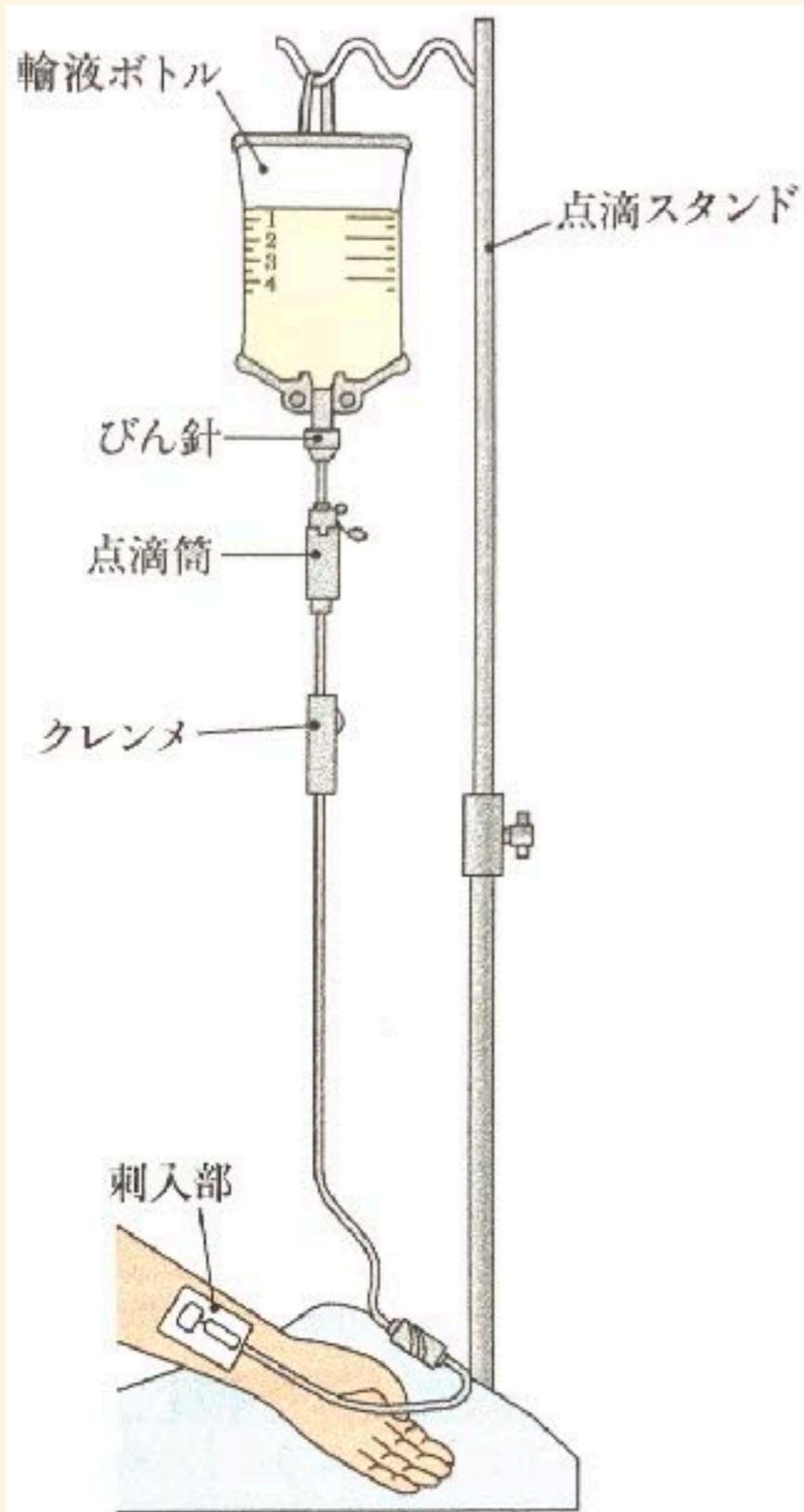


図 5.14 点滴の装置

# 5.4 圧力差を利用した医療機器 (2) 胸腔ドレナージ

## ・ドレナージ

液体・気体を体外に排出する操作

### 注意点

- ・逆流しないか

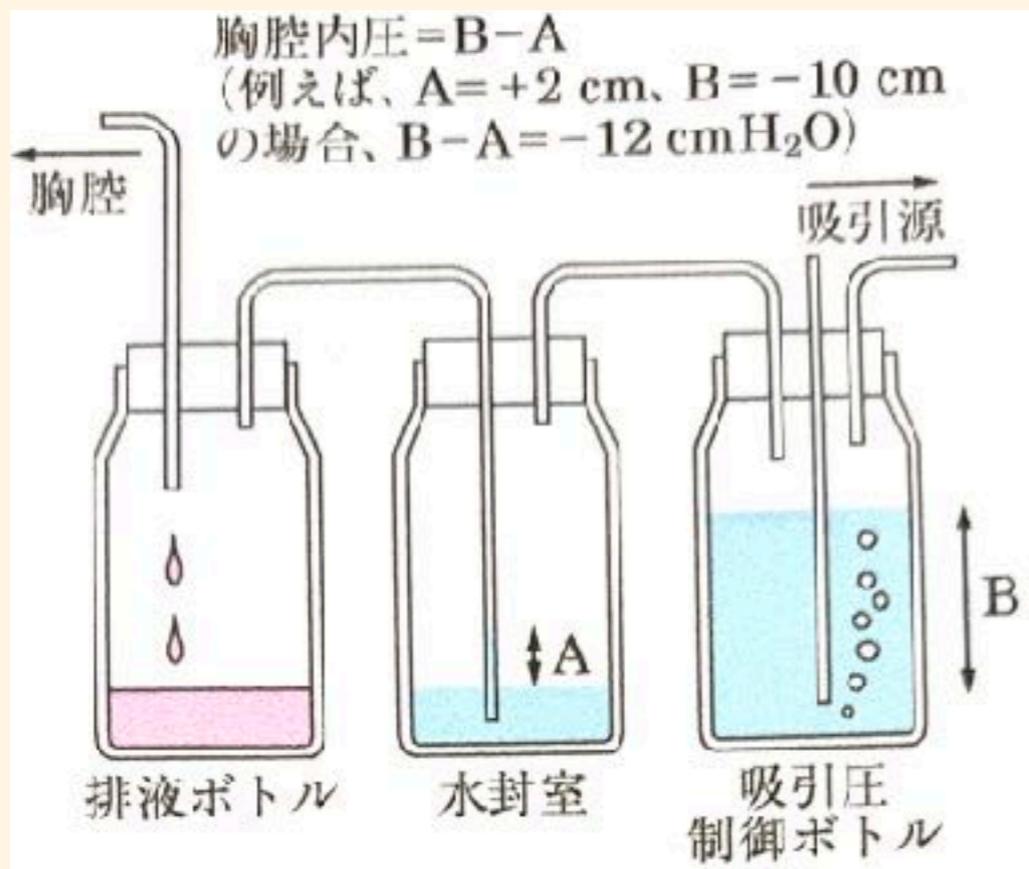


図 5.15 胸腔ドレナージ

