



3

## 呼吸器系





## 呼吸とは

### ◇ 呼吸とは

【生理学】

呼吸とは、細胞や個体が周囲の環境(空気・水)から酸素を摂取してATPを合成し、その過程で発生した二酸化炭素を排出するまでの過程をいう。

このうちヒトが周囲環境から呼吸器を介して酸素を血液中に取りこみ、血液中の二酸化炭素を周囲環境に排出することを、とくに外呼吸または肺呼吸という。これに対し、個々の細胞内における酸素の利用と二酸化炭素の排出過程は内呼吸 [p.18]とよばれる。ただし単に呼吸というときは、一般に外呼吸(肺呼吸)のことをさす。

外呼吸(肺呼吸)によって空気中から肺に吸いこんだ空気のうち、酸素は肺の毛細血管から血液循環にはいる。血液中の酸素は全身の各組織に運搬され、組織の毛細血管から間質液(組織間液)に拡散して、各細胞に取りこまれて利用される。いっぽう細胞活動の結果生じた二酸化炭素は細胞内から間質液(組織間液)にでて、上記と逆のルートをとって呼気中に排出される。



## 呼吸器系の構成



### 呼吸器系とは

### ◇ 呼吸器系

【解剖学】

空気中から酸素を吸収して血液中に移行させ、同時に血液中にある二酸化炭素(炭酸ガス)を空気中に排出している器官を呼吸器系と総称する。ヒトの呼吸器系は、気道と肺、および胸郭<sup>きょうかく</sup>から構成される。

## 気道の構造

### ◇ 気道とは

【解剖学】

呼吸器のうち鼻から肺までの空気の通り道(導管)を気道と総称する。気道<sup>1)</sup>は空気が流入する順に、外鼻孔、鼻腔、咽頭<sup>[p.185]</sup>、喉頭<sup>[p.187]</sup>、気管、気管支<sup>[p.188]</sup>からなり、これは肺におけるガス交換の場となる肺胞<sup>[p.191]</sup>につながる。

## 鼻腔

### ◇ 鼻腔

【解剖学】

鼻腔<sup>2)</sup>は呼吸器の入り口をなす部位であり、顔面中央部にある外鼻<sup>3)</sup>の内部にひろがる腔である。鼻腔の前方は鼻骨と鼻軟骨と皮膚・粘膜によっておおわれ、その下方で左右二カ所にひろく部位を外鼻孔<sup>4)</sup>といい、後方は咽頭腔<sup>[p.185]</sup>につながる。この咽頭<sup>いんとう</sup>につながる部位を後鼻孔<sup>こうびこう</sup>という。

また鼻腔上方には篩骨と蝶形骨を境として脳をいれる頭蓋腔があり、下方は口蓋によって口腔と仕切られている。

#### 1. 鼻中隔

正中には鼻腔を左右両半にわける鼻中隔<sup>5)</sup>がある。鼻中隔は弾性軟骨<sup>6)</sup>で構成され、その上方は篩骨<sup>7)</sup>と鋤骨<sup>8)</sup>で構成される。

- 
- 1) 気道： 気道のうち、その上部を構成する外鼻孔・鼻腔から喉頭までの区間をとくに上気道という。上気道は呼吸に関与するだけでなく、嗅覚、嚥下、発音、発声などの機能もあわせもつ。
  - 2) 鼻腔： 鼻腔は外鼻孔から後鼻孔までの区間をいう。
  - 3) 外鼻： 外鼻は、顔の中央にある三角錐状の突出部をいう。外鼻中央で稜状に突出した部分を鼻背(一般にいうハナスジ)といい、鼻背上端部を鼻根、鼻背下端の突出部を鼻尖(一般にいうハナサキ)、鼻尖の左右両側で外鼻孔を外側からおおふくらんだ部分を鼻翼(一般にいうコバナ)という。
  - 4) 外鼻孔： 鼻腔において外部に対して開口している部分(一般にいう鼻の孔)を外鼻孔という
  - 5) 鼻中隔： 鼻中隔は側方に偏位していることが多く、成人で正確に正中矢状面内に位置することはまれである。
  - 6) 弾性軟骨： 軟骨は細胞外基質の性状により硝子軟骨、線維軟骨、弾性軟骨の三種類に分類される。これらのうち弾性軟骨は耳介や喉頭蓋にみられるやや黄色を帯びた軟骨で、細胞間質に膠原線維と網目状に分布する弾性線維をふくむ。変形してもすぐにもとの形態に復するという特性がある。
  - 7) 篩骨： 篩骨は前頭蓋窩の中央部にあり、前頭骨の篩骨切痕に始まり、両側眼窩の内側壁から鼻腔の上部を構成する。水平位の篩板、正中面にある垂直板、垂直板の両側にある篩骨迷路の3部からなる。
  - 8) 鋤骨： 鋤骨は、骨鼻中隔の後下部を構成する不正な四角形の薄い板状骨である。

## 2. 鼻甲介と鼻道

左右の外鼻孔から鼻腔に入った空気の通路を鼻道という。鼻腔の外側壁からは内腔にむかって上・中・下鼻甲介とよばれる底状の骨<sup>9)</sup>が突出し、鼻腔を3つの鼻道にわけている。各鼻道には副鼻腔<sup>[p.185]</sup>が開口する。

鼻腔内を流れる空気は左右、上中下の鼻道にすすみ、後鼻孔でひとつに合流して、咽頭に流入する。

- 上鼻道----- 上鼻甲介と中鼻甲介の間をいい、ここには篩骨洞が開口する。
- 中鼻道----- 中鼻甲介と下鼻甲介の間をいい、ここには前頭洞、篩骨洞、上顎洞が開口する。
- 下鼻道----- 下鼻甲介と口蓋の間をいい、ここには眼球表面を流れる涙を流す鼻涙管<sup>10)</sup>が開口する。
- 総鼻道----- なお各鼻甲介は鼻中隔にまで達していないため、鼻中隔の両側には上下方向に各鼻道がつながる狭い空所として総鼻道がある。

## 3. 鼻粘膜

鼻腔内の粘膜は線毛<sup>11)</sup>をもつ上皮(線毛上皮<sup>12)</sup>)におおわれ、線毛は鼻腔の後方に向かって運動している。鼻粘膜の特徴は以下のとおりである。

- 鼻腔の上部には鼻粘膜嗅部(嗅上皮)があり、ここには嗅覚を受容する嗅細胞がならぶ。
- 鼻粘膜の体性感覚(触圧覚、痛覚、温覚、冷覚、搔痒感)は、三叉神経<sup>[p.414]</sup>によって中枢神経系に伝えられる。
- 鼻中隔の前下部はキーセルバッハ部位<sup>13)</sup>とよばれ、毛細血管にとむために鼻出血をおこしやすい。
- 鼻粘膜には鼻汁をだす鼻腺があり、ときに大量の粘液と漿液を分泌する。

9) 骨： 上鼻甲介と中鼻甲介は篩骨の一部が張り出したものであるが、下鼻甲介は独立した骨である。

10) 鼻涙管： 鼻涙管は約18mmの長さの粘膜の管で、眼球前面を流れる涙をみちびく。涙嚢に始まり、下後方や外側に向かい、下鼻道に開口する。

11) 線毛： 線毛は、細胞の表面にある直径約0.2μm、長さ数μm-数十μmの可動性突起である。線毛上皮細胞などの自由表面にあり、体液の運搬や細胞の運動に関与する。

12) 線毛上皮： 線毛上皮とは、線毛をもつ上皮組織である。

13) キーセルバッハ部位(Kiesselbach area)： キーセルバッハ部位は鼻中隔前下方部の皮膚が粘膜に移行する付近をいう。同部位の粘膜は毛細血管網が発達していることにくわえ、鼻入口部で機械的刺激を受けやすいため鼻出血の好発部位(鼻出血全体の70-90%)となっている。(Wilhelm Kiesselbach;1839-1903,はドイツの医師)

- 鼻粘膜は空気をあたため、湿り気をあたえる機能を果たしている。
- 鼻毛は空気中の塵埃や病原体が気道に侵入することを防いでいる。

## ◇ 副鼻腔

【解剖学】

副鼻腔は、鼻腔を取りかこむ骨にあいた空洞である。副鼻腔をもつ骨としては前頭骨、篩骨、蝶形骨、上顎骨であり、副鼻腔はそれをもつ骨の名称から前頭洞、篩骨洞、蝶形骨洞、上顎洞とよばれる。

副鼻腔の内面は鼻粘膜でおおわれ、鼻腔と連絡<sup>14)</sup>している。

- **前頭洞**-----前頭骨内部にある左右1対の空洞で、**中鼻道に開く。**
- **篩骨洞**-----篩骨内部にある多数の小腔からなる。その前部と中部は**中鼻道に開き**、後部は**上鼻道に開口する。**
- **蝶形骨洞**-----蝶形骨体の内部にあり、**鼻腔後上方に開口する。**
- **上顎洞**-----上顎骨体内にあり、**副鼻腔のうちでもっとも大きい。中鼻道に開く。**

## ◇ 咽頭

## ◇ 咽頭

【解剖学】

咽頭<sup>15)</sup>は鼻腔後端の後鼻孔につづいて始まって、頸部で喉頭および食道の最上部<sup>16)</sup>で終わる長さ12～14cmの管腔臓器である。咽頭は鼻部、口部、喉頭部に区分され、咽頭前壁には上方から後鼻孔、口峽、および喉頭口が存在し、食物および空気の通路となる。

**咽頭の上部を咽頭鼻部または上咽頭という。咽頭鼻部の前方は後鼻孔を経て鼻腔に通じ、下方は軟口蓋の裏面で咽頭口部(中咽頭)に移行する。咽**

14) 鼻腔と連絡している： 鼻腔の感染およびそれによる炎症は容易に副鼻腔にも広がり、副鼻腔炎をきたす。

15) 咽頭： 咽頭は鼻腔、口腔、喉頭の後にあり、上端は蝶形骨体の後部と後頭骨の底部に接し、下端では第6頸椎体の上縁で食道に移行する。

16) 食道の最上部： 前後に圧平された咽頭内腔の幅は、上部では35mmほどと広いが、食道との境界部では15mmほどになる。これは虫垂をのぞく消化管では、もっとも狭い部位である。

頭鼻部の側壁には中耳からのびる耳管<sup>17)</sup>が開口し、後壁には咽頭扁桃(アデノイド)<sup>18)</sup>がある。

### ◇ 咽頭扁桃

【解剖学】

咽頭扁桃、耳管扁桃、口蓋扁桃、舌扁桃は口峽を取りまいて配置されている扁桃腺群であり、これはワルダイエルの扁桃輪 [p.178] と総称される。これらはリンパ組織として、鼻や口から侵入する病原体に対する免疫(生体防御機構)にはたらいている。

### ◇ 咽頭の筋と感覚

【解剖学】

咽頭壁の筋群(咽頭筋)は、咽頭収縮筋および咽頭挙筋群など骨格筋で構成される。これらは舌咽神経 [p.423] や迷走神経 [p.425] の支配を受け、発語に関与するとともに嚥下<sup>19)</sup>運動にあずかる。

咽頭は気道の一部として空気がとおるばかりでなく、口腔から食道・胃に送られる食物のとおり道<sup>20)</sup> [p.229] でもある。このため嚥下時に食物がここをとおるときは、咽頭の筋群が自動的に働いて、これらが鼻腔や喉頭に侵入しないようにしている。

また咽頭に分布する舌咽神経 [p.423] は、咽頭粘膜の体性感覚(触圧覚、痛覚、温覚、冷覚、搔痒感)をつたえる。

- 
- 17) 耳管： 耳管は、中耳鼓室から咽頭にいたる長さ30-40mmの長円錐形の管である。後1/3の耳管骨部と前2/3の耳管軟骨部からなっている。通常、耳管は一部をのぞいて閉鎖されているが、嚥下運動によっておこる口蓋帆張筋の収縮によって耳管内腔が開き、鼓室内圧と外気圧の平衡がたもたれる。また耳管は、咽頭における風邪などの感染症の病原体が、中耳につたわって中耳炎をおこす経路となる。
- 18) 咽頭扁桃(アデノイド;adenoid)： 咽頭扁桃はアデノイドともよばれ、咽頭上部で鼻咽腔後壁より隆起する扁桃である。生後徐々に増殖し4-5歳時に発育のピークに達し、その後加齢とともに退縮する。咽頭扁桃の増殖肥大(アデノイド増殖症)は、3-7歳の小児に多発する。その肥大が高度になると、気道狭小化により鼻閉、口呼吸、夜間のいびきや睡眠時無呼吸などの症状があらわれる。通常は10歳に達するころには萎縮してしまうことが多いが、ときに20歳くらいまで肥大している場合もある。
- 19) 嚥下： 嚥下とは、口腔内で咀嚼された飲食物を口腔から咽頭、食道を経て胃に輸送する生理機能をいう。これは飲食物が通過する部位から分類され、口腔から咽頭腔までを口腔相(随意相)といい、咽頭腔から食道口をこえるまでを咽頭相、噴門に至るまでを食道相という。このうち口腔相では、口腔、鼻腔、喉頭腔、中耳腔などへの開口部は一時的に遮断され、食塊を食道口に向けて移動させる。
- 20) 口腔から食道・胃に送られる食物の通り道： 高齢者では餅などが、嚥下時に咽頭につまり、窒息をきたすことがある。

## ◇ 喉頭

### ◇ 喉頭

【解剖学】

喉頭は咽頭に開いた空気の取り入れ口で、吸気時には下方にある気管へ空気をおくり、呼気時には気管からの空気を咽頭に送る。喉頭の入り口には喉頭口がひらき、その前壁にある喉頭蓋が咽頭と喉頭との境界となる。

### ◇ 喉頭軟骨

【解剖学】

喉頭の内部には円筒形の喉頭腔があり、壁にはいくつもの喉頭軟骨があつて支柱を構成している。喉頭をつくる軟骨としては甲状軟骨、輪状軟骨、披裂軟骨、喉頭蓋軟骨などがある

- **甲状軟骨<sup>21)</sup>** ----- 喉頭をつくる軟骨のなかでもっとも大きい。喉頭前壁の主部を構成し、前頸部でみられる喉頭隆起<sup>22)</sup>をつくる。また下方で輪状軟骨と関節する。
- **輪状軟骨** ----- 甲状軟骨の下方にある指輪状の形をした軟骨で、第6頸椎の高さにある。その上方で甲状軟骨と関節し、下方は靭帯によって気管につながる。前方部は幅の狭い弓状であるが、後方部は幅広く板状となり、喉頭の後壁の大部分を構成している。後方部の板の上外側角に1対の披裂軟骨がのる。
- **披裂軟骨** ----- 輪状軟骨がつくる上外側角にのる左右一対の軟骨である。披裂軟骨には声帯筋や声帯靭帯が付着し、発声運動に関与する。
- **喉頭蓋軟骨** ----- 甲状軟骨の上で杓子形の喉頭蓋をつくる軟骨で、その一部は弾性軟骨 [p.48] からなる。その下部は靭帯により甲状軟骨の正中後面に連結される。嚥下時に喉頭蓋は、喉頭の入り口(喉頭口)を閉じて、食物が気道に入らないようにする。

21) 甲状軟骨 (thyroid cartilage): 甲状の語は「thyroid」の訳語であり、これは「楯 (thyreos)」という語に由来する。当時の兵士が使った楯は、首から足首までを保護し、上端中央に顔をのぞかせる切れ込みがあった。甲状軟骨の形態がその楯によく似ていることからこの名がつけられた。

22) 喉頭隆起: 喉頭隆起は、前頸部の正中で舌骨の下にある甲状軟骨の前部の突出がつくる隆起である。男性では思春期になると男性ホルモンの作用によって喉頭の軟骨が急速に成長し、甲状軟骨の前部が突出してこの隆起が形成される。喉頭隆起はキリスト教圏の国々では「アダムのリンゴ (Adam's apple)」とよばれる。これはアダムが禁断の木の実を口にしたことを神からとがめられ、驚いて飲みこんだ果実の半分がのどに引っかかり、喉頭部に隆起が形成されたという聖書の挿話から付けられた名称である。日本では「喉仏」とよばれる。成人男性のシンボルとなっている。

## ◇ 声帯

【解剖学】

声帯<sup>せいたい</sup>は喉頭腔の上部にある発声するための器官である。

喉頭腔の側壁には前後に走る左右1対の襞<sup>ひだ</sup>がある。その縁を声帯唇<sup>せいたいしん</sup>といひ、左右の声帯襞<sup>ひだ</sup>の間を声門裂<sup>せいもんれつ</sup>という。声門裂と声帯襞<sup>ひだ</sup>を合わせて声門という。

声帯襞<sup>ひだ</sup>の中には声帯筋がある。声帯筋は披裂軟骨<sup>ひれつなんこつ</sup>から喉頭蓋に走行する骨格筋で、迷走神経の枝である反回神経<sup>23)</sup> [p.425]の支配をうけ、声門裂を開閉させる。発声<sup>24)</sup>は、肺からの呼気を声門裂に通過させたときに生ずる声帯の振動<sup>25)</sup>によって生ずる。

またこれ以外の喉頭筋群<sup>26)</sup>もすべて迷走神経 [p.425]の支配をうける。

## ◇◇ 気管・気管支

## ◇ 気管の走行

【解剖学】

気管は喉頭の下につづき、長さ約10-11cm、横径約1.5-2cmの管状の器官である。気管は第6頸椎下縁の高さにあたる輪状軟骨下縁で始まり、食道の前方を垂直に下り、胸郭上口から縦隔<sup>じゅうかく</sup> [p.193]に入って大動脈弓 [p.116]の後方をとおり、第4-6胸椎の高さで左右の気管支に分かれる。ここを気管分岐部という。

気管の壁には14-20個の馬蹄形<sup>ばてい</sup>の気管軟骨があるため、気管の内腔はつねに開いていて空気がとおれるようになっている。また上下の気管軟骨の間は輪状靭帯で結ばれている。

気管の壁の後方部分には軟骨がなく、気管筋とよばれる平滑筋からなる膜性壁となっている。これを気管膜性部といい、気管膜性部は食道と接する。

- 
- 23) 反回神経： 反回神経は迷走神経の枝で、右側では鎖骨下動脈の下を、左側では大動脈弓と動脈管索の下を後ろに回って上方へ反転して走行する。その後、気管と食道の両側にそって上行し、輪状甲状筋以外の喉頭筋群と声帯ヒダより下方の喉頭粘膜に分布する。
- 24) 発声： 喉頭は性ホルモンの影響を受ける器官である。思春期になると少年では男性ホルモンの影響により喉頭が急激に大きくなり、太く低い声となる。女性や子供では発声のために輪状甲状筋が収縮して声帯を緊張させるが、男性ではこの筋が弛緩するので太くて低い声になる。
- 25) 声帯の振動： 声門は通常の呼吸しているときは開いているが、これを閉じると声帯ヒダの縁が振動して音声を発する。声帯ヒダの長さは日本人男性で2.0cm、女性で1.5cm、小児で0.9cmである。
- 26) 喉頭筋群： 喉頭筋は、喉頭の軟骨の間を結ぶ筋肉の総称である。このうち輪状甲状筋は声帯の緊張にあずかり、後輪状披裂筋は声門を開く筋である。このほかに外側輪状披裂筋、披裂筋、甲状披裂筋、斜甲状披裂筋、披裂喉頭蓋筋、甲状喉頭蓋筋がある。これらのうち、輪状甲状筋だけは迷走神経の枝である上喉頭神経支配であり、それ以外の筋は迷走神経の反回神経枝の下喉頭神経支配である。



## ◇ 気管支の走行

【解剖学】

気管につづく**気管支**は、**主気管支**、**気管支**、**細気管支**に細分される。気管支は肺内で分岐を繰り返して肺胞<sup>[p.191]</sup>に達する。

**気管支**は、**第4胸椎ないし第6胸椎上縁の高さで気管が左右に分岐して始まる**。この分岐部を**気管分岐部**という。

### 1. 主気管支

**気管分岐部に始まる気管支を主気管支**という。主気管支は左右対象ではなく、**右気管支は左気管支より太くて短く<sup>27)</sup>、正中面とのなす角度が小さい<sup>28)</sup>**。これは心臓が正中線より左に寄っており、左肺は右肺にくらべて小さく、肺門<sup>[p.190]</sup>の位置がより外側にあるからである。このため**気道に入った異物はほとんどの場合、右気管支に落下する**。

**主気管支は外下方に向かい、肺の各葉にはいる枝、すなわち葉気管支に分かれて肺門から肺内に入る**。右肺は三葉からなるため**右主気管支<sup>29)</sup>は三本の葉気管支に、すなわち右上葉気管支、右中葉気管支、右下葉気管支に**わかれる。いっぽう左肺は二葉からなるため**左主気管支<sup>30)</sup>は二本の葉気管支に、すなわち左上葉気管支、左下葉気管支に**わかれる。

### 2. 細気管支

**主気管支は肺にはいって葉気管支に分かれ、さらに6-12回分岐を繰り返して細気管支となる**。さらに**細気管支は肺胞管から肺胞<sup>はいほう</sup>へとつづく**。

## ◇ 気管・気管支壁の構造

【解剖学】

気管と気管支の壁の構造はほぼ同じで、**馬蹄形<sup>ばてい</sup>の気管支軟骨**がつらなり、**後部には平滑筋からなる膜性壁**がある。また細気管支では、軟骨が少なくなり、その壁には平滑筋が多くみられるようになる。これら**気管支にある平滑筋は気管支平滑筋(気道平滑筋)**とよばれる。

27) 右気管支は左気管支より太くて短く： 右気管支は長さ約3cm、左気管支は長さ約5cmである。

28) 正中面とのなす角度が小さい： 気管分岐部がつくる角度は平均70°であり、気管支が気管軸の延長線となす角度は右で約25°、左で約45°である。このように右気管支は左気管支にくらべて垂直に近く下行する。

29) 右主気管支： 右主気管支は右上葉気管支をだしたあと、肺門部で右中葉気管支および右下葉気管支にわかれて肺内に入る。

30) 左主気管支： 左主気管支は肺門部で左上葉気管支および左下葉気管支に分岐して肺内に入る。

気管・気管支の内腔粘膜は、線毛をもつ円柱細胞がつくる線毛上皮<sup>31)</sup>(多列線毛円柱上皮 [p.38])となっている。その線毛運動は上方に向かう。

また粘膜固有層には気管支腺があり、これは粘液を分泌する。これらには気道内に侵入した異物や病原体を、粘液とともに痰として咽頭・喉頭に押しもどす機能をなう。

#### ◇ 気管支の自律神経支配

【生理学】

気管支平滑筋は交感神経活動によって弛緩する。これによって気道の内腔は拡張し、気道内をより多くの空気が流れるようになる。

いっぽう迷走神経にふくまれる副交感神経活動は、気管支平滑筋を収縮させるとともに、気管支腺の腺分泌を亢進する。これによって気道の内腔は狭くなる。

また吸気中にふくまれる物質に対して気管支でアレルギー反応<sup>32)</sup>がおこったときにも、気管支は収縮して気道の内腔は狭くなる。

### 肺の構造

#### 肺

#### ◇ 肺

【解剖学】

肺は、胸郭の内部で胸膜におおわれて存在する左右一对の大きな胸部内臓器である。しかしその大きさは左右対称でなく、右肺の容積の方が左肺よりも大きい。

右肺は斜裂<sup>33)</sup>と水平裂とよばれる裂溝によって上中下の3葉に仕切られ、左肺は斜裂によって上下の2葉に分かれる。この5つの肺葉を大葉<sup>だいよう</sup>という。大葉はさらに径約1cmの四角形ないし六角形の肺小葉から構成されている。

左右の肺を合わせると円錐形をなし、各部位には以下のような特徴があ

31) 線毛上皮： 線毛上皮とは、線毛をもつ上皮組織である。気管支の内面は先端を内腔に向けた長さ3～6 μmの線毛でおおわれており、ひとつの細胞につき約200本の線毛をもつ線毛細胞から構成されている。

32) アレルギー反応： 気管支でおこるアレルギーとしては、気管支喘息がある。

33) 斜裂： 斜裂は、肺の後上方から肋骨面にしたがって前下方にまわって走る深い切れこみである。

る。

- 肺の上端の突出部を**肺尖部**といい、これは鎖骨の上2-3cmに達する。
- 肋骨に面する外側面を肋骨面という。
- **肺の底面部**を肺底といい、肺底が横隔膜に接する部分を横隔面という。
- 左右の肺が面する内側面の中央には**肺門**<sup>34)</sup>があり、ここに**気管支、肺動脈、肺静脈、気管支動脈、気管支静脈**、リンパ管、神経などが出入りする。
- 左右の肺の内側面下部には、心臓がはいる部分に**凹んだ心圧痕**がある。心圧痕は左側の肺の方が大きく、ここで左肺は心臓に接している。

## ◇ 肺胞

【解剖学】

肺内に進入した気管支が分岐をかさねた末、**気管支の終末部の行きどまり**となった半球状の小さな部屋を**肺胞**といい、ここが呼吸器における**ガス交換**の場となる。肺胞ひとつの大きさは100-200 $\mu\text{m}$ くらいである。左右の肺に肺胞は約5～8億個あり、その総表面積は90 $\text{m}^2$ に達する。また全肺胞がしめる容積は、肺の85%にのぼる。

肺胞内に流入した空気を**肺胞気**という。肺胞壁では、**肺胞気と毛細血管中の血液との間でガス交換** [p.203]がおこなわれる。肺胞壁はきわめて薄く、ここには肺動脈から分枝した多数の毛細血管(肺胞毛細血管)が網状に分布する。**肺胞の内表面を肺胞上皮**<sup>35)</sup>といい、この薄い上皮がつくる膜を介して肺胞気と毛細血管中の血液との間のガス交換がおこなわれる。

## ◇◇ 胸膜と胸膜腔

## ◇ 胸膜

【解剖学】

胸郭の内面と肺はじかに接することなく、**胸膜**<sup>36)</sup>と**胸膜腔**とよばれる組織によって隔てられている。**胸膜は、胸郭内壁を内張りする壁側胸膜と、肺の表面をおおう臓側胸膜**の2枚からなる。

34) 肺門： 肺門の位置は第5から第7胸椎の高さにある。

35) 肺胞上皮： 肺胞上皮は、厚さ0.1-0.5 $\mu\text{m}$ で、その直下を毛細血管が走る。肺胞上皮を構成する細胞にはI型肺胞細胞(扁平肺胞細胞)とII型肺胞細胞(大肺胞細胞)があり、後者は表面活性剤を分泌する。肺胞に入った空気は、I型肺胞細胞と基底膜と血管内皮細胞を通過してガス交換をおこなっている。

36) 胸膜： 胸膜は漿膜上皮でできた膜である。漿膜上皮は中胚葉由来であるために中皮とよばれる。

## ◇ 胸膜と胸膜腔

【解剖学】

**胸膜腔**<sup>きょうまくくう</sup> [p.198] は、壁側胸膜と臓側胸膜の2枚によってつくられた腔である。すなわちこれら2枚の胸膜は肺の内側面にある肺門部で連続しており、これによって袋状に閉じられた腔が胸膜腔である。

**胸膜腔**<sup>きょうまくくう</sup>にはごく少量の漿液<sup>しょうえき</sup><sup>37)</sup>がはいっており、これを胸水(胸膜液)という。胸水は呼吸運動のときに2葉の胸膜が滑らかにうごく潤滑剤としてはたらき、呼吸運動にともなって肺の外表面と胸壁が摩擦することを防いでいる。

## ◇◇ 胸郭

### ◇ 胸郭

【解剖学】

**胸郭**<sup>きょうかく</sup>は胸部において脊椎、肋骨、胸骨にかこまれるかご状構造であり、その内部に心臓や肺などの臓器をいれる。胸郭の後方には、その支柱となる12個の椎骨(胸椎)があり、ここを起点として12対の肋骨がでる。肋骨は胸郭の外壁をつくり、前方にまわりこんで胸骨につながる。この骨組には肋間筋などの骨格筋がつくとともに、胸郭の底面には横隔膜があつて、腹腔との境界をつくる。

胸郭の上部にあつて、頸部につながる部位を胸郭上口<sup>38)</sup>という。胸郭上口は、第1胸椎、第1肋骨、胸骨上縁(胸骨柄)でかこまれる。いっぽう胸郭の下縁となる胸郭下口は横隔膜の起始部となっている。

胸郭は呼吸にともなって運動し、これにより肺は吸気時に拡大、呼気時に縮小する。

37) 漿液： 漿液は、漿膜などから分泌される体液で、粘性物質をふくまず比較的さらさらした薄い黄色透明な液体である。

38) 胸郭上口： 胸郭上口は、前後径約5cm、左右径約10cmの楕円形をなし、前下方に傾斜する。この部位は気管、食道のほか、腕頭動静脈、左総頸動脈、左鎖骨下動脈、交感神経幹およびいくつかの末梢神経が通過する。

## 縦隔

### ◇ 縦隔

【解剖学】

左右の肺によってはさまれた部分<sup>じゅうかく</sup>を縦隔という。縦隔は後方は胸椎、前方は胸骨に境され、上方は胸郭上口から頸部につづいているが、下方は横隔膜によって遮断されている。

縦隔は上下の両部にわけられ、下部はさらに前部、中部、後部に区分される。

#### 1. 縦隔上部

縦隔の上部に胸腺 [p.177]、腕頭静脈 [p.140]、上大静脈 [p.139]、大動脈弓 [p.116]、気管 [p.188]、食道 [p.232]、胸管 [p.174]、迷走神経 [p.424] および横隔神経 [p.440] がある。

#### 2. 縦隔下部

縦隔の前部には結合組織およびリンパ節がある。中部には心膜、心臓ならびにここに出入する大血管がみられる。後部には食道 [p.232]、胸大動脈 [p.127]、奇静脈 [p.142]、半奇静脈 [p.142]、胸管 [p.174]、気管支 [p.189]、迷走神経 [p.424] などがみられる。

## 呼吸運動

### 呼吸運動

#### 呼吸運動とは

### ◇ 肺における換気

【生理学】

肺における換気<sup>かんき</sup>では、肺に空気などのガスが動的に出入りしている。これは、さまざまな骨格筋をもちいた呼吸運動によって胸郭内の容積を増減さ

せ、肺胞内に空気を出入りさせておこなわれる。

### ◇ 呼吸運動とは

【生理学】

呼吸運動において、空気を気道に流入させる運動を吸息(吸気)といい、空気を気道から排出させる運動を呼息(呼気)という。この呼吸運動にかかわる骨格筋群を呼吸筋といい、これは呼気時にはたらく呼気筋群と、吸気時にはたらく吸気筋群にわけられる。

## ◇◇ 安静時呼吸と努力呼吸

### ◇ 安静時呼吸と努力呼吸

【生理学】

呼吸運動は、これにかかわる筋群の違いから、安静にしているときにみられる安静時呼吸(正常呼吸)と、身体運動時などにみられる努力呼吸にわけることができる。

### ◇ 安静時呼吸

【生理学】

健康な者にみられる安静時呼吸は、吸息と呼息が毎分10～15回程度で周期的、規則的に交代し、呼吸が停止することなく、呼吸困難をともしない。

安静時呼吸は、吸気筋である横隔膜と外肋間筋の収縮・弛緩によっておこなわれている。このため横隔膜と外肋間筋を主呼吸筋という。

### ◇ 努力呼吸

【生理学】

努力呼吸は身体運動時のほか、精神的な興奮時、ある種の疾患の症状としてみられる。努力呼吸では換気量が増加するため、安静時呼吸のときよりも横隔膜と外肋間筋の収縮力が増加するとともに、安静呼吸では使われない筋が使われるようになる。また努力呼吸がおこなわれているときは、呼吸に合わせて鼻翼の運動が観察される。これを鼻翼呼吸びよくこきゅうという。

努力呼吸に動員される筋群を補助呼吸筋という。補助呼吸筋には以下のようなものがある。

- **吸気補助筋**----- 努力呼吸の吸気時に収縮する筋群であり、**斜角筋**<sup>39)</sup>群、**前鋸筋**、**上・下後鋸筋**、**大胸筋**、**小胸筋**、**胸鎖乳突筋**<sup>40)</sup>、**広背筋**、**鎖骨下筋**などがある。
- **呼気補助筋**----- 努力呼吸の呼気時に収縮する筋群であり、**内肋間筋**<sup>41)</sup>、**腹横筋**、**腹直筋**<sup>42)</sup>、**腰方形筋**などがある。

## 吸息と呼息

### 吸息

#### 吸息

【生理学】

**吸息(吸気)**は、呼吸運動によって呼吸器内に空気を吸い込むことである。これは肺胞内圧を、外界の大気圧よりも低く(陰圧<sup>43)</sup>)にすることによっておこなう。

#### 安静時呼吸における吸息

【生理学】

**安静時呼吸における吸息**は**横隔膜と外肋間筋の収縮**によってのみおこなわれる。すなわち**吸息時には**、これらの骨格筋収縮が**胸郭内の容積を広げる**。これによって**肺胞内圧が下がって外界の大気圧に比べて陰圧になると**、**肺内に空気が流入する**。

- 
- 39) 斜角筋： 斜角筋は頸椎横突起より起こり、上位肋骨に付着する骨格筋である。前斜角筋、中斜角筋、後斜角筋、最小斜角筋がある。肋骨を引き上げ胸郭を広げ、吸息筋のひとつとして機能し、肺尖と胸膜頂を側方から保護する。
- 40) 胸鎖乳突筋： 胸鎖乳突筋は、頸部の外側を斜走する骨格筋である。起始部は胸骨頭と鎖骨頭の二頭で、胸骨頭は胸骨の胸骨柄前面上部より、鎖骨頭は鎖骨の前1/3部の上面より起こる。停止部は側頭骨の乳様突起外面および後頭骨後頭鱗外面の上項線である。オトガイを上方に上げる作用と首を回し傾ける作用があり、吸息筋のひとつとしても機能する。
- 41) 内肋間筋： 内肋間筋は、肋骨と肋骨の間を埋める3層からなる薄い筋群、すなわち肋間筋のひとつである。起始部は第1-11肋骨の内面の縁・肋軟骨であり、停止部は第2-12肋骨で、それぞれ下位の肋骨の上縁につく。内肋間筋の走行は外肋間筋と直交する。内肋間筋の収縮は肋骨と肋骨の間隔を縮める作用があり、これによって胸郭の横径は縮小して、肺は圧縮される。
- 42) 腹直筋： 腹直筋は、腹部の正中線にある白線の両側に位置する長い平らな骨格筋である。恥骨から起こり第5-7肋軟骨または剣状突起に付く。筋の間に腱画と呼ばれる3つの腱で仕切られている。腹直筋収縮は胸郭と骨盤を固定したときは、腹圧を高めることに作用し、横隔膜ドームを押しあげて、肺を圧縮することにはたらく。
- 43) 陰圧： ある空間の内部の圧力が、外部より小さくなっている状態を陰圧という。

1. 横隔膜

**横隔膜<sup>44)</sup>**は、**第3-5頸神経**から構成される**横隔神経<sup>45)</sup>**の支配をうける骨格筋である。その吸息における役割は以下のとおりである。

- 胸郭の下面をおおう膜状の筋である横隔膜は、その弛緩時は胸郭下口の付着部からドーム状に上方に向けて凸<sup>46)</sup>になっている。
- 横隔膜は、延髄<sup>47)</sup>にある呼吸中枢<sup>48)</sup>からの指令によって収縮する。**横隔膜の収縮では、ドーム状の筋腹は下降して、胸郭下口でほぼ水平となる。**
- 上記の**横隔膜収縮すなわち横隔膜の沈下<sup>49)</sup>**は、**胸郭内の容積を広げることによって胸郭内腔の圧を低下させる。**これにともなって肺胞内圧も低下し、肺胞内に空気が流入して吸気がおこなわれる。

2. 外肋間筋

**外肋間筋<sup>50)</sup>**は**第1-11胸神経**からでる**肋間神経**の支配をうける骨格筋である。その吸息における役割は以下のとおりである。

- 上下に隣りあう肋骨と肋骨の間を斜めに走行する**外肋間筋は、収縮によって肋骨を挙上するはたらきがある。**
- 延髄にある呼吸中枢からの指令によって**外肋間筋が収縮して肋骨が挙上されると、胸郭の前後径が大きくなることで胸郭内の容積が増加し、胸郭内腔の圧は低下する。**これにともなって肺胞内圧も低下し、肺胞内に空気が流入して吸気がおこなわれる。

---

44) 横隔膜： 横隔膜は、胸部と腹部内臓を隔てる円蓋状で膜状をなす骨格筋である。胸郭下部で胸骨剣状突起背面、下位肋骨、第1-3腰椎からおこり、ドームの頂点に近いところの腱中心に付着する。その支配神経である横隔神経は頸神経叢の枝である。

45) 横隔神経： 横隔神経は第3-5頸神経前枝をとる神経線維群が、頸神経叢で再編成されて起こる末梢神経本幹のひとつである。隔神経は前斜角筋の前下方へまわって胸腔内に入り、縦隔胸膜と心膜との間をおって横隔膜を支配する。

46) 上方に向けて凸： 横隔膜が弛緩時に上方に向けて凸になるのは、このときの腹腔内圧が胸郭の内圧よりも高いためである。

47) 延髄： 頭蓋骨の内部にある脳は、大脳・間脳・小脳・脳幹に分類される。延髄は脳幹部の最下部に位置し、その下方は脊髄につながる。

48) 中枢： 脳と脊髄(中枢神経系)は、身体のさまざまな機能をコントロールしている。このコントロールは、脳や脊髄を構成する各所で分業されており、それぞれの機能にとってのコントロールセンター、すなわちその機能を調節するときに中心的な役割をはたす部位を中枢という。

49) 横隔膜の沈下： 横隔膜の面積は約270cm<sup>2</sup>であり、安静時の吸息で約1.5cm下降するため、このときに変化する容積は約400mlとなる。これは一回換気量(500ml)の80%に相当する。

50) 外肋間筋： 12対ある肋骨と肋骨との間(肋間隙)には、3層からなる薄い骨格筋がある。これらは表層から外肋間筋、内肋間筋、最内肋間筋とよばれる。このうち外肋間筋は、両側11対の筋からなり、その後端は肋骨結節から始まり、前下方に向かう。また前端は肋軟骨の近くまで認められ、それより前方は外肋間膜に置きかわる。



## ◇ 努力呼吸における吸息

【生理学】

努力呼吸では、主呼吸筋である横隔膜と外肋間筋の収縮にくわえ、吸気補助筋である斜角筋群、鋸筋群<sup>51)</sup>、大胸筋、小胸筋、胸鎖乳突筋、広背筋、鎖骨下筋なども収縮する。

## ◇ 腹式呼吸と胸式呼吸

【生理学】

安静時呼吸においては、一般に横隔膜の役割が約70%をしめる<sup>52)</sup>。これよりも横隔膜の運動が中心となる呼吸の型式を腹式呼吸(横隔膜呼吸)といい、肋間筋などの運動が中心となる呼吸型式を胸式呼吸<sup>53)</sup>という。

## ◇◇ 呼息

## ◇ 安静時呼吸における呼息

【生理学】

安静時呼吸における呼息(呼気)は、安静時にはたらく吸息筋である横隔膜と外肋間筋の活動が停止し、弛緩することによって元の状態に戻ることにによる。このように安静時呼吸の呼息は、まったく受動的におこなわれ、エネルギー消費はほとんどない。

## ◇ 努力呼吸における呼息

【生理学】

努力呼吸の呼気時には、呼気補助筋である内肋間筋、腹横筋、腹直筋、腰方形筋などが動員されて、能動的呼息がおこなわれるようになる。

51) 鋸筋群： 背部の筋群は脊柱の背面にあって、浅背筋と深背筋にわけられる。さらに深背筋は第1層と第2層とに分けられ、第1層の筋は呼吸を補助し、第2層は脊柱と頭を後ろに反らせることにはたらく。深背筋の第1層にある筋は、上後鋸筋と下後鋸筋とからなり、これらを鋸筋群という。

52) 横隔膜の役割が約70%をしめる： 安静時の肺活量全量のうち、約70%の量が横隔膜収縮(横隔膜の沈下)によって換気されている。ただし運動時など、いちじるしい換気亢進時には外肋間筋などの胸壁の動きが増加して、約75%を占めるようになる。

53) 胸式呼吸： 横隔膜や腹壁筋に運動障害や制限がある場合、妊娠末期などでは呼吸時の胸壁の動きが大きくなり、胸式呼吸がみられるようになる。

## 胸腔内圧

### 胸腔内圧

【生理学】

袋状に閉じられた腔である胸膜腔<sup>きょうまくくう</sup> [p.192]内の圧を胸腔内圧(胸膜腔内圧)という。胸腔内圧は、安静時呼吸のもとではつねに(呼気時にも吸気時にも)大気圧よりも低い圧力(陰圧)<sup>54)</sup>をたもっている<sup>55)</sup>。

さらに吸息時におこる胸郭の容積拡大によって胸腔内圧は低下(胸膜腔内の陰圧は増加)する。この吸息時におこる胸腔内圧の低下により肺は膨張し、気管や肺胞内に外界から空気が流入する。また呼息時に胸腔内圧は上昇する。

## 肺機能

### 肺気量とは

### 肺気量とは

【生理学】

呼吸器(気道と肺)内にある空気の量を肺気量という。肺気量などの呼吸運動を記録する方法をスパイログラフィーといい、これにもちいる機器をスパイロメータ<sup>56)</sup>という。

- 
- 54) 大気圧よりも低い圧力(陰圧): 安静時呼吸において胸腔内圧がもっとも高くなるのは、安静呼息終了時である。このときの胸腔内圧は、正常で-2--4cmH<sub>2</sub>O(大気圧を0として)である。また胸腔内の陰圧が増加する吸息時には-6--7cmH<sub>2</sub>Oとなる。
- 55) 大気圧よりも低い圧力(陰圧)をたもっている: 胸腔内の陰圧は、胸膜腔が閉じられていることによって成り立っている。胸壁における鍼灸針の穿刺などで、鍼尖が胸膜を破り肺胞に達すると、肺内の空気が胸腔内に陰圧が消失するまで吸いこまれて、胸腔内に気体が入った状態となる。これを気胸という。気胸では、胸膜腔内に本来は存在しない気体が入っているため、その気体の容積分だけ胸腔内容積が増加し、これが肺を圧迫して肺は縮小する。
- 56) スパイロメータ(spirometer): スパイロメータは、いわゆる肺活量計のことをいう。かつてはベネディクト-ロス型スパイロメータがもちいられたが、最近ではニューモタログラフ(呼吸気流量計)や熱線流量計をもちいて電氣的に気流量を測定し、これを積分して、肺活量などの肺気量をもとめる装置がもちいられる。スパイロメーターにはいくつかの種類があるが、基本構造は息の吹き込み口(マウスピース)とその導管、呼出された空気量を測定・記録する装置、数値を表示するモニター部分で構成される。

## ◇ 肺気量の測定基準

【生理学】

肺気量の測定には基準となるポイントがもうけられており、これには以下の4つの基準位がある。

- 最大吸気位-----可能なかぎり吸気をつづけて到達した最大の肺気量位
- 安静吸気位-----安静時呼吸における吸気で到達した肺気量位
- 安静呼気位-----安静時呼吸における呼気で到達した肺気量位
- 最大呼気位-----可能なかぎりの呼出をつづけて到達した最小の肺気量位

## ◇◇ 肺機能の指標

### ◇◇ 呼吸数と肺気量分画

## ◇ 呼吸数

【生理学】

呼吸数は、一般に1分間あたりにおこなわれる呼吸の回数であらわす。健康成人の安静時の呼吸数は10-15回/分程度である。

基本的な自発呼吸における呼吸数は、延髄の呼吸中枢によってコントロールされているが、随意的に調節することもできる。

## ◇ 全肺気量

【生理学】

全肺気量とは、最大吸気をしたときに呼吸器(気道と肺)内にふくまれる空気の量である。これは、「全肺気量=肺活量+残気量」と表現することができる。

## ◇ 死腔と死腔量

【生理学】

呼吸器(気道と肺)内で、ガス交換にあづからない部分を死腔しきうといい、その量を死腔量という。死腔には解剖学的死腔、肺胞死腔、生理学的死腔があ

る。健康成人の生理学的死腔量<sup>57)</sup>は平均150mL程度であり、そのほとんどは解剖学的死腔がしめる。

- 解剖学的死腔<sup>58)</sup> -----鼻腔、口腔、咽頭、喉頭、気管、気管支、細気管支で構成される気道部分である。
- 肺胞死腔<sup>59)</sup> -----肺毛細血管の血流が悪く、肺胞に空気が届いていてもガス交換にあずからない部分である。
- 生理学的死腔-----解剖学的死腔と肺胞死腔を合わせたものである。(生理学的死腔=解剖学的死腔+肺胞死腔)

#### ◇ 換気量

【生理学】

換気量は、呼吸により呼吸器系(気道と肺)に出入りする空気の量である。

換気量は以下のような指標で表される。

- 一回換気量-----安静呼吸時に呼吸器系に出入りする空気の量であり、この量は健康成人で約500mlである。
- 分時換気量-----1分間あたりの換気量の合計値である。(分時換気量=一回換気量×1分間の呼吸数)

#### ◇ 肺胞換気量

【生理学】

換気量のうち、肺胞毛細血管を通過する血流と実際に有効なガス交換をおこなう量を肺胞換気量という。肺胞換気量の増減は、動脈血中の酸素分圧や二酸化炭素分圧の変化に直結する指標として重要である。

なお肺胞換気量は、換気量から死腔量を差し引くことで求めることができる。(肺胞換気量=換気量-死腔量)

肺胞換気量は以下のような指標であらわされる。

- 一回肺胞換気量-----一回換気量から死腔量を差し引いたものである。(一回肺胞換気量=一回換気量-死腔量)
- 分時肺胞換気量-----一回肺胞換気量に1分間の呼

57) 健康成人の生理学的死腔量: 死腔量は、安静呼吸時の換気量(約500ml)の約1/3をしめ、肺胞に到達することなく呼出される。

58) 解剖学的死腔: 正常では解剖学的死腔と生理学的死腔の体積はほぼ一致する。

59) 肺胞死腔: 肺胞死腔は、健康な若年者ではほぼ0であるが、加齢やさまざまな呼吸器疾患で肺胞が障害されると増加する。

吸数を掛けたものをいう。(分時肺胞換気量＝一回肺胞換気量×呼吸数)

#### ◇ 予備呼気量・予備吸気量

【生理学】

予備吸気量は、一回換気量を吸いこんだ(安静吸気位)のちに、さらに吸いこむことのできる最大の吸気量であり、この量は健康成人では約2-3lである。

いっぽう予備呼気量は、一回換気量を呼出した(安静呼気位)のちに、さらに吐き出すことのできる最大の呼気量であり、この量は健康成人では約1lである。

#### ◇ 残気量と機能的残気量

【生理学】

残気量は、最大に空気を呼出した(最大呼気位)のちに、呼吸器に残っている空気の量である。これがゼロになることはなく、健康成人で約1.3Lである。

また機能的残気量は、一回換気量を呼出した(安静呼気位)のちに、呼吸器に残っている空気の量である。したがって機能的残気量は、予備呼気量と残気量との和であるといえる。(機能的残気量＝予備呼気量＋残気量)

#### ◇ 肺活量

【生理学】

肺活量<sup>60)</sup>は最大の換気量であり、最大吸気位から最大努力の呼出をして計測する。したがって肺活量は、一回換気量、予備吸気量、予備呼気量の総和であるといえる。(肺活量＝一回換気量＋予備吸気量＋予備呼気量)

なお肺活量は、さまざまな呼吸器疾患や加齢によって減少し、継続的に運動をおこなうことによって増加する。

60) 肺活量： 肺活量は、年齢、性、とくに身長によって大きくことなる。そのおおよその正常値は健康成人の男性で3000～4000ml、女性で2000～3000mlとされるが、スポーツ選手などでは7000mlに達する場合もある。なお18歳以上の成人の推測正常値は以下の式(ボールドウィンの予測式)によって算出される。

男性＝{27.63－(0.112×年齢)}×身長

女性＝{21.78－(0.101×年齢)}×身長

上記の計算式によって求められた値を予測肺活量といい、肺活量の実測値がその80%を下回るものは、何らかの異常が疑われる。

## ◇◇ その他の肺機能の指標

### ◇ 肺コンプライアンス

【生理学】

グラフの横軸に肺を伸展させる圧力(ΔP)をとり、縦軸に肺の容積の変化(ΔV)をとると、圧-容積の曲線をえがくことができる。この曲線の傾き(ΔV/ΔP)を肺コンプライアンスとよぶ。この肺コンプライアンス<sup>61)</sup>は、肺の広がりやすさ(伸展度)をあらわす指標であり、その値が高いことは伸展しやすい肺であることを意味する。

### ◇ 一秒量と一秒率

【生理学】

肺活量のうち、呼出開始のはじめ1秒間に呼出される量を一秒量という。また一秒量が肺活量に占める割合を一秒率<sup>62)</sup>という(一秒率=一秒量÷肺活量×100)。

## ◇◇◇ ガス交換とガスの運搬

### ◇◇◇ ガス交換

### ◇ 吸気と呼気の組成

【生理学】

通常環境において、吸息運動時に呼吸器(気道・肺)に吸入されるものは大気(空気)である。このため吸気の組成は、大気のそれと等しい。通常、大気または吸気の組成は、酸素(O<sub>2</sub>)21%、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)0.03%、窒素(N<sub>2</sub>)78%などからなる。このうち吸気は呼吸運動によってガス交換され、呼気として呼出される。これによって排出される呼気の組成は、酸素(O<sub>2</sub>)16%、

61) 肺コンプライアンス(pulmonary compliance): 健康成人の静的肺コンプライアンスの正常値は0.15-0.30L/cmH<sub>2</sub>Oである。

62) 一秒率: 健康成人の一秒率は70%以上である。これは20歳代をピークとして加齢とともに低下する。またおもに長期の喫煙によっておこる慢性閉塞性肺疾患(肺気腫と慢性気管支炎)では、肺活量はあまり低下しないが、気道の狭小化によってとくに呼息がしにくくなり、呼気にかかる時間が長くなる(呼気延長)。このため慢性閉塞性肺疾患では、自覚症状がでる前から一秒率が低下する。

二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)4%、窒素(N<sub>2</sub>)78%などとなる。

なお呼吸運動において、吸息運動の最後に吸入される空気は、鼻腔から肺胞の入口までの領域(死腔) [p.199]にまでしか到達せず、この部分の空気は肺胞においてガス交換されることなく呼出される。

## ◇ ガス交換

【生理学】

呼吸におけるガス交換では酸素(O<sub>2</sub>)と二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の交換がおこなわれる。これがおこなわれる場は、肺胞と肺毛細血管内血液の間と、末梢毛細血管内血液と間質液(組織間液)の間との2ヵ所である。これらの部位でみられるガス交換では、ガス分子が分圧<sup>63)</sup>勾配にしたがって拡散 [p.32]することによって移動する。

なお身体のガス交換の場のうち、酸素分圧がもっとも高いのはつねに肺胞気であり、もっとも低いのはつねに間質液(組織間液)である。

さらに二酸化炭素分圧がもっとも高いのはつねに間質液(組織間液)であり、もっとも低いのはつねに肺胞気である。また体循環 [p.63]の血液の二酸化炭素分圧は動脈血で低く、静脈血で高い。

## ◇◇◇ 肺におけるガス交換

### ◇ 肺におけるガス交換

【生理学】

肺におけるガス交換は、肺胞気と肺毛細血管内の静脈血との間にあるガス分圧の差によって、酸素や二酸化炭素が拡散することによっておこなわれる。

#### 1. 肺における酸素の移動

肺胞内にあって肺胞でのガス交換に関与するガスを肺胞気といい、その酸素(O<sub>2</sub>)分圧は約100mmHgである。いっぽう全身から心臓に還流し、肺胞に至った静脈血の酸素(O<sub>2</sub>)分圧は約40mmHgである。

上記のように酸素のガス分圧は肺胞気で高く静脈血で低いため、

63) 分圧： 空気などの混合ガスにおいて、それを構成する個々のガスがもつ圧を分圧という。これら個々のガス分圧をすべて合わせると、混合ガスの全圧となる。

60mmHg(=100mmHg-40mmHg)の圧力差によって肺胞気にふくまれる酸素は、毛細血管内に拡散する。

## 2. 肺における二酸化炭素の移動

全身から心臓に還流し、肺胞に至った静脈血の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)分圧は約46mmHgである。いっぽう肺胞気の二酸化炭素分圧は約40mmHgである。

上記のように二酸化炭素のガス分圧は静脈血で高く肺胞気で低いため、6mmHg(=46mmHg-40mmHg)の圧力差によって毛細血管内にふくまれる二酸化炭素は、肺胞気に拡散する。

# 血液中の酸素と二酸化炭素

## ◇ 血液中の酸素

【生理学】

肺におけるガス交換の結果、動脈血の酸素ガス分圧は高い<sup>64)</sup>ものとなり、体循環に流れる。

体循環の血液の酸素分圧は動脈血で高く、静脈血で低い。その差に相当する部分は、毛細血管から間質液を経て組織細胞にわたされる。

### 1. 酸素化ヘモグロビン

動脈血の酸素の大部分(約97~98%)は、赤血球<sup>[p.68]</sup>中のヘモグロビン<sup>[p.69]</sup>と結合した状態、すなわち酸素化ヘモグロビンとして存在する。

ヘモグロビンと酸素との結合力は酸素分圧に比例するため、酸素分圧が高いほど酸素と結合したヘモグロビン(酸素化ヘモグロビン)は増える。したがって肺胞気から毛細血管中に入った酸素のほとんどは、肺胞毛細血管内でヘモグロビンと結合して酸素化ヘモグロビン<sup>65)</sup>となる。

### 2. 脱酸素化ヘモグロビン

ヘモグロビンと酸素との結合力は二酸化炭素分圧に反比例するため、酸素化ヘモグロビンは、二酸化炭素分圧が高いほど酸素を遊離しやすくなる。

64) 動脈血の酸素ガス分圧は高い： 動脈血の酸素ガス分圧は約95mmHgで、これは動脈血100ml中に20mlの酸素が溶解した状態である。

65) 酸素化ヘモグロビン： 肺胞毛細血管内のヘモグロビンの酸素飽和度は97-98%となる。



間質液(組織間液)では二酸化炭素分圧が高いため、体循環の動脈を流れて毛細血管に至った血液中の酸素化ヘモグロビンは、ここで酸素を間質液に遊離して脱酸素化ヘモグロビン(還元ヘモグロビン)となる。

## ◇ 血液中の二酸化炭素

【生理学】

血液100ml中に二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)は動脈血で40-50ml、静脈血で45-55ml含まれる。血液中の二酸化炭素<sup>66)</sup>の大部分(約80%)は、血漿中に重炭酸イオン(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)として存在する。

### 1. 静脈血中の二酸化炭素

組織において細胞から間質液(組織間液)中にでた二酸化炭素は、分圧勾配にしたがって毛細血管壁内にはいる。毛細血管内で二酸化炭素のほとんどは重炭酸イオンとなって静脈血として心臓に還流し、肺に送られる。このため体循環の血液中の二酸化炭素分圧は動脈血で低く、静脈血で高い。

### 2. 動脈血中の二酸化炭素

動脈血中の二酸化炭素分圧は、肺胞換気量によって決まる。すなわち換気量が低下すると動脈血中の二酸化炭素分圧は上昇し、換気量が増加すると動脈血中の二酸化炭素分圧は低下する。

## ◇ 組織におけるガス交換

【生理学】

組織におけるガス交換は、組織に分布する毛細血管内の血液と間質液(組織間液)との間にあるガス分圧の差によって、ガスが拡散しておこなわれる。

## 呼吸と体液の酸塩基平衡

### ◇ 呼吸による体液の酸塩基平衡の調節

【生理学】

血液中の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の大部分(約80%)は、血漿中に重炭酸イオ

66) 血液中の二酸化炭素： 血液中の二酸化炭素の一部は還元ヘモグロビンによって運搬されるが、その比率は二酸化炭素全体の10%程度である。

ン( $\text{HCO}_3^-$ )として存在する。この血液中の重炭酸イオンは静脈血を介して肺に送られ、肺胞において二酸化炭素を遊離する。

肺において二酸化炭素が肺胞気にでるとき、血液中で二酸化炭素を遊離した重炭酸イオンは水酸化物イオン( $\text{OH}^-$ )となる( $\text{HCO}_3^- - \text{CO}_2 = \text{OH}^-$ )。血液中的の水酸化物イオン( $\text{OH}^-$ )は物質として不安定であるため、血漿中にある水素イオン( $\text{H}^+$ )と結合して水( $\text{H}_2\text{O}$ )となる。このため、肺における呼気量(換気量)は、体液の酸塩基平衡(pH) [p.26]に大きな影響をあたえる。

#### 1. 呼吸性アルカローシス

肺における換気量が増加すると、呼気から体外にでる二酸化炭素の量も増加する。このため換気量が過度に増加する(過換気)と、体内の水素イオン( $\text{H}^+$ )濃度は減少し、体液の酸塩基平衡(pH)は上昇する。これによっておこる病的な状態を呼吸性アルカローシスという。

#### 2. 呼吸性アシドーシス

肺における換気量が低下すると、呼気から体外にでる二酸化炭素の量も減少する。このため換気量が過度に低下すると、体内の水素イオン( $\text{H}^+$ )濃度は上昇し、体液の酸塩基平衡(pH)は低下する。これによっておこる病的な状態を呼吸性アシドーシスという。

## 呼吸運動の調節

### 呼吸中枢

#### ◇ 呼吸中枢とは

【生理学】

呼吸は覚醒時にも睡眠時にも常時、規則的におこなわれる<sup>67)</sup>。また身体運動時などには呼吸数や換気量が増加して、より多くの酸素を取り込み二酸化炭素を呼出する。

67) 規則的におこなわれる： 正常な自発呼吸は、呼吸中枢のニューロン群の働きによっておこなわれる。ここにはペースメーカー様に自発的にインパルスを発射するニューロンがあり、これらの作用によって安静時の呼吸リズムが形成される。

このような呼吸リズムの形成と、環境変化に対応するための調節メカニズム<sup>68)</sup>をコントロールする部位を呼吸中枢という。呼吸中枢は、脳幹部の延髄にある。

## ◇ 呼吸中枢の機能

【生理学】

呼吸中枢は末梢からの入力をうけて、以下のような機能をはたす。

- 上気道に侵入した異物や刺激性物質などは延髄の呼吸中枢を刺激し、くしゃみ<sup>69)</sup>反射<sup>70)</sup>、咳反射<sup>71)</sup>など防御反応を引き起こす。このため呼吸中枢は、咳反射中枢ともよばれる。
- 気管支・肺から呼吸中枢には肺の伸展度(膨張の度合い)が伝えられている。呼吸中枢ではこれに応じて吸息活動の停止と呼息への切り替えをおこなう。これをヘーリング・ブロイエル反射という。このため呼吸中枢はヘーリング・ブロイエル反射中枢ともよばれる。
- 身体には体液中の酸素分圧や二酸化炭素分圧、pHを測る受容器があり、その情報はつねに呼吸中枢に送られている。呼吸中枢ではこれらの変動に応じて吸息数の調節をおこなう。これを肺の化学受容器反射という。

## ◇◇◇ 呼吸調節にはたらく反射

### ◇ ヘーリング・ブロイエル反射

【生理学】

ヘーリング・ブロイエル反射(ヘーリング・ブロイヤー反射)<sup>72)</sup>は、吸息から

- 
- 68) 環境変化に対応するための調節メカニズム：呼吸運動をになう筋群は随意的な支配がおよぶ骨格筋であるため、呼吸数や換気量は意志によって変えることもできる。しかし呼吸運動には、中枢神経系のはたらきによって自動的に呼吸運動のリズムを発生させるメカニズムと、身体内外におこる環境変化に対応するための調節メカニズムが関わっている。
- 69) くしゃみ：くしゃみがおこるときは、まず長い吸息運動が生じ、ついで強い呼息が始まる。このとき喉頭がいったん閉鎖するため、胸腔内圧と気道内圧が著しく上昇する。つぎに喉頭が急速に開き、爆発的な呼息により気道・鼻腔内の空気や分泌部などがおもに鼻腔から排出される。
- 70) 反射：反射とは、生体にくわえられた刺激に対して、適切に対応するための神経系の基本的な反応様式である。反射は生まれつき備わっている神経回路によっておこるものであり、反射ごとに一定の神経回路が活動することによって定型な反応が引き起こされる。このとき反応を引き起こすために活動する神経回路を反射弓という。
- 71) 咳反射：咳は、気道や胸膜刺激によって咽頭、気管分岐部、気管支粘膜に存在する受容体を興奮させ、迷走神経を求心路として咳反射中枢を刺激しておこる反射である。咳反射の遠心路には肋間神経、横隔膜神経、反回神経などがある。
- 72) ヘーリング・ブロイエル反射(Hering-Breuer reflex;ヘーリング・ブロイヤー反射)：ヘーリング・ブロイエル反射は、とくに新生児において正常な吸息・呼息の切り換えに重要である。しかしヒト成人では反射を引き起こす肺膨張の閾値が高いため、この反射の意義は少ないと考えられている。(Heinrich Edwald Hering, 1866-1948, はドイツの生理学者)(Josef Breuer, 1842-1925, はオーストリアの医師)

呼息への切りかえにあずかる反射であり、肺迷走神経反射ともいわれる。なおヘーリング・ブロイエル反射の反射中枢は延髄の呼吸中枢にある。

- ヘーリング・ブロイエル反射の受容器は肺胞や気管支にある伸展受容器である。伸展受容器は、受容器そのものが引き伸ばされると興奮する働きがある。吸息による肺の膨張とともに肺胞や気管支がふくらむと、この伸展受容器が興奮しインパルスを発する。
- 伸展受容器におこった求心性インパルスは、迷走神経にふくまれる求心性ニューロンによって延髄の呼吸中枢につたえられる。
- 延髄にいたった求心性インパルスは、呼吸中枢を抑制し、呼吸筋群の吸息活動を抑制するようにはたらく。
- 呼吸中枢は、横隔神経を介して横隔膜の収縮を抑止し、肋間神経を介して外肋間筋の収縮を抑止する。これによって吸息活動は終息し、呼息へと切りかわる。

#### ◇ 肺の化学受容器反射

【生理学】

身体には体液中の酸素分圧や二酸化炭素分圧、pHなどを測るセンサーがある。呼吸数は、これらによって感受される体液中の化学的な変化に応じて調節されている。これを肺の化学受容器反射という。なお肺の化学受容器反射の反射中枢は延髄の呼吸中枢にある。

##### 1. 化学受容器が感知する化学的な変化

体液中の化学物質の濃度変化を感知する受容器を化学受容器という。肺の化学受容器反射をひきおこす化学受容器としては、以下のようなものがある。

- 総頸動脈が内・外頸動脈に分岐する部位の血管壁には、頸動脈小体<sup>73)</sup>とよばれる化学受容器がある。また大動脈弓の血管壁には、大動脈小体<sup>74)</sup>とよばれる化学受容器がある。これらはいずれも動脈血中の酸素分圧、二酸化炭素分圧、pH(水素イオン濃度)<sup>[p.26]</sup>の変化を感知する。

73) 頸動脈小体： 頸動脈小体は、総頸動脈が内頸動脈と外頸動脈に分岐する部の後面に存在する米粒大の小体である。ここには神経繊維が密に分布し、血中の酸素分圧、炭酸ガス分圧やpHを感知する。

74) 大動脈小体： 大動脈小体は、大動脈弓周辺に存在する米粒大の小体である。頸動脈小体とおなじく、血中の酸素分圧、炭酸ガス分圧やpHを感知する。

- 延髄の表層には脳脊髄液<sup>75)</sup>のpH(水素イオン濃度)の変化を感知する化学受容器がある。

## 2. 呼吸中枢による調節

上記の化学受容器で感知された情報は、延髄の呼吸中枢に送られ、以下のような調節がおこなわれる。

- **末梢動脈血や脳脊髄液中での二酸化炭素分圧上昇または酸素分圧低下は、一回換気量と呼吸数を増加<sup>76)</sup>させて、呼吸運動を促進する。**これによって肺胞換気量は増加し、肺における酸素の取り込みと二酸化炭素の呼出が促進されて、血液ガスの分圧が生理的範囲内に維持されるようになる。
- **末梢動脈血や脳脊髄液におけるpH低下(水素イオン濃度上昇)は、一回換気量と呼吸数を増加させる。**これによって二酸化炭素の呼出量が増加し、pHは上昇して体液は弱アルカリにもどる。これはpHを生理的範囲に維持するために重要なメカニズムである。

---

75) 脳脊髄液： 脳脊髄液は、脳・脊髄の表面をかこむ膜がつくるクモ膜下腔や、脳・脊髄の中心部にある腔である脳室を満たす水様透明な体液である。脳脊髄液は頭蓋骨や椎骨がつくる骨の腔(頭蓋腔や脊柱管)と脳・脊髄の間にあるため、脳や脊髄は脳脊髄液の中に浮いた状態で存在する。これは頭部や脊柱にくわわる外力に対するクッションとしてはたらき、脳や脊髄が物理的な障害を受けにくいようにしている。

76) 一回換気量と呼吸数を増加： 肺の化学受容器反射における求心性情報は、呼吸中枢がつくる呼吸リズムを亢進し、呼吸数を増加させるとともに呼吸深度を大きくして一回換気量を増加させる。

