

篩骨が厚く書かれているが、この部分は非常に薄い骨である(特に正中に近い部位)。このことが顔面骨折時に経鼻エアウェイが脳頭蓋内に迷入しないよう禁忌となっている理由であるため注意する必要がある。

## (2)口腔の解剖

口腔は口唇により囲まれる口裂から始まり、後方では口蓋垂(Uvula)、口蓋舌弓、口蓋咽頭弓、舌根で構成される口峽により咽頭口部(中咽頭)とつながっている(図 1-3)。口腔の生理的作用は食物の咀嚼と嚥下、味覚の感知等の食物の消化に関連したものと呼吸や構音に関連したものがある。

口腔の解剖学的構造は、歯列により口唇と歯列間の口腔前庭と歯列以後の固有口腔に分けられる。歯列は成人では正中から上下左右対称に切歯 2、犬歯 1、小臼歯 2、大臼歯 3 本の計 32 本の歯で構成されている。

口腔は上壁の硬口蓋と上顎・下顎を除き軟部組織で構成されている。口腔の上壁を構成する口蓋は前方の硬口蓋を除き後方は筋で構成された軟口蓋となっている。

口腔の下壁を構成するのは舌で、大きな筋のかたまりである。このため意識障害で筋の緊張(特にオトガイ舌筋)が保てなくなると、下顎が下がり、さらに舌根沈下が起きて気道を閉塞する。

口腔の後方は口峽により咽頭口部(中咽頭)とつながっている。口峽を構成するのは口蓋舌弓・口蓋咽頭弓(それぞれ同名の筋により構成:口蓋舌筋・口蓋咽頭筋)と舌根及び上方の口蓋垂(Uvula)である。口蓋舌弓・口蓋咽頭弓の間には口蓋扁桃があり舌扁桃などとともにワルダイエルのリンパ咽頭輪を構成して異物の進入を監視している。小児ではこれらの扁桃腺が肥大すると口峽が狭くなり、呼吸困難に陥ることがある(アンギーナ)。また扁桃腺は動静脈が多く入り血流が豊富なため・損傷の際には出血を起こすことがある。

### 指導のポイント⑤:

口腔は気管挿管時の視線の通過部分となる。そのため構造やその名称を正確に理解する必要がある(図 1-4)。

歯は加齢に伴い減少することも多いが、挿管操作の際に喉頭鏡では傷つけてはならない。特に上切歯は不適切な喉頭鏡の使用で用意に折れるため注意が必要である(喉頭鏡の使用法として後述)。

口腔は咀嚼のための硬組織(歯・上顎・下顎)と嚥下のための軟組織の部分がある。すなわち口腔内の構造は歯や骨などの硬組織を除き、可動性があるということである。テキストの図では軟口蓋にも骨が描かれているため注意が必要である。

多くの侵襲的処置ではその位置を決める基準は骨又は軟骨に求められる。これは軟部組織に比べ可動性が少ないためである。このため気管挿管では口腔内の構造では

なく、喉頭蓋(軟骨)が位置決め基準となっている。

### (3)咽頭の解剖

咽頭は鼻腔・口腔・気管(喉頭)・食道を結び、呼吸器系(気道)と消化器系が交わる重要な部位である。上下に長く(約 12cm)、上方より順に咽頭鼻部・咽頭口部・咽頭喉頭部の 3 部に分けられる。咽頭後壁は上・中・下咽頭収縮筋及び輪状咽頭筋により構成され、そのすぐ後方は頸椎となっている(図 1-5)。

咽頭の生理的作用は気道を通る空気と消化器系を通る食物を誤嚥しないように振り分ける作用である。通常は気道として開通しているが、食物が通る際には反射的に嚥下運動が起こり、食物が気管に入らないようにしている(詳細後述)。

指導のポイント⑥:

咽頭は鼻腔・口腔・喉頭の後方に位置しており、気道と消化器系が交わる複雑な構造をしている(図 1-6、1-7)。

この部分の視野を十分に確保することが喉頭口・声帯を目視するためには重要となるため、スライド等を用い各部位の名称を理解させる必要がある。

咽頭正中断の図を用い鼻部、口部も含めた咽頭腔の全体的な構造を理解させる。

また咽頭後壁は椎骨前面にあること等、周囲の関係にも注目させる。

#### ①咽頭鼻部(上咽頭)

鼻腔の後方に位置し、外側壁には耳管が開口し中耳と交通している。この部位には耳管扁桃・咽頭扁桃があり、ワルダイエルのリンパ咽頭輪の一部として鼻腔からの異物の進入を監視している。小児でこの耳管扁桃が肥大すると呼吸困難を起こすことがある。咽頭鼻部の後壁は上咽頭収縮筋が構成しており、嚥下時に挙上した軟口蓋とともに鼻腔を閉鎖する。

この部位は咽頭の他の部位とは異なり、食物は通らず気道専用となっている。

#### ②咽頭口部(中咽頭)

口峽後部に位置し軟口蓋から舌骨までの高さを占め、咽頭後壁は舌骨より起こる中咽頭収縮筋と甲状軟骨より起こる下咽頭収縮筋の一部が構成している。咽頭後壁の粘膜には知覚神経として舌咽神経があり、この部位の刺激により嘔吐反射が誘発される。また、咽頭後壁には咽頭の運動を支配している咽頭神経があり、舌咽神経・迷走神経・交感神経など多くの神経から構成されている。

指導のポイント⑦:解剖メモ

嘔吐反射:消化管粘膜－舌咽・迷走・交感神経－延髄－迷走神経－咽頭筋

咳嗽反射:気道粘膜－迷走神経－延髄－体性神経－呼吸筋

迷走神経反射:嚥下などに伴う伸展受容器の刺激による迷走神経の興奮に伴い、副交感神経による各種生理反応が起こる。

この他、気道への痛み刺激により交感神経による各種生理反応が起こることもある。

心肺停止後の経過時間が長い場合、これらの反射は起こらない(図 1-8)。

### ③咽頭喉頭部(下咽頭)

舌骨の下方から輪状軟骨の下端までの高さにある。舌骨の後方には喉頭蓋(Epiglottis)があり、舌根と喉頭蓋の間を喉頭蓋谷といい、正中と外側に舌喉頭蓋ヒダがある。この部分はマッキントッシュ型喉頭鏡の先端が入る場所として重要である。

喉頭蓋の前下方には喉頭口があり、気道と消化管の分岐部となる。喉頭口は舌骨の後方にある喉頭蓋と披裂喉頭蓋ヒダに囲まれた部分で喉頭へつながっている。喉頭蓋の外側には更に食道との間に梨状陥凹があり、この部位は食事の際に小骨などが引っかかりやすい部位となっている。

咽頭喉頭部の後面は、下咽頭収縮筋と輪状咽頭筋が構成している。下咽頭収縮筋は筋繊維の走行が多様で、筋の走行が変わる隙間部分は抵抗減弱部位として憩室ができやすくなっている。主な好発部位は下咽頭収縮筋と輪状咽頭筋の間(咽頭憩室)、輪状咽頭筋と食道縦走筋がつくる三角(食道憩室)である。気管挿管の操作を行う際には注意が必要である。

### (4)喉頭の解剖

喉頭は主に甲状軟骨に囲まれた気道専用の空間で、第 4 頸椎(C4)から第 6 頸椎(C6)の高さに存在し、上方は喉頭蓋と披裂喉頭ヒダで囲まれた喉頭口から始まり、下方は輪状軟骨を通り気管へとつながっている。甲状軟骨の内部には披裂軟骨・輪状軟骨との間に声帯がつくられている(図1-9～図 1-14)。

#### 指導のポイント⑧:

喉頭は気管挿管においては目視できる最終的な構造となるため、立体的にその構造を熟知しておく必要がある。出来る限りスライドや模型を用い理解を深めさせる必要がある。

喉頭の生理的作用は声帯による発声の調節に加え、血流豊富な粘膜で覆われることにより吸気を加温・加湿するとともに、気管への異物の進入を予防している。

喉頭口から前庭ヒダまでの部分を喉頭前庭という。前庭ヒダの更に奥に声帯ヒダ(Vocal fold)があり、その間を喉頭室という。声帯より下方は喉頭下腔となり気管へとつながっている。

声帯ヒダは前方では甲状軟骨正中部に付着し、後方では披裂軟骨に付着し可動性をもっている。呼吸時には開き、発声時には適度に狭まり、嚥下時には閉じる。また声帯ヒダには声帯筋と甲状披裂筋が走り、その張り具合や厚みを変え異なる音が出せるようになっている。

左右の声帯ヒダの間を声門裂といい、成人ではこの部分が気道で最も狭い部位となる。また声帯の上部の粘膜が浮腫を起こすと気道が狭くなり(喉頭浮腫)、呼吸困難を生じることがある。

喉頭の神経支配のうち、知覚神経は声門上部が迷走神経から出る上喉頭神経、声門下部は反回神経から出る下喉頭神経が支配している。また、運動神経は甲状軟骨の内部はすべて下喉頭神経であり、甲状軟骨外側の輪状喉頭筋のみ上喉頭神経が支配している。

#### (5) 気管・気管支・肺の解剖

気管は第6頸椎(C6)の高さで輪状軟骨より続いて起こり、頸部正中を下降し胸腔内、第5胸椎の高さで左右の気管支に分岐する。胸腔内で左右の気管支は左右非対称に肺内に入る。

気管・気管支の生理的作用は、気道として呼吸時の空気の通り道となるとともに、空気中の異物を除去し、喉頭とともに適度な気道内圧を保つ。

気管の解剖学的構造は呼吸時に虚脱しないよう全長にわたり前方にU字型の軟骨によって囲まれている。気管後壁は膜性壁と呼ばれ、さらに後面の食道壁とつながっている。気管内は粘膜上皮で覆われ、さらに上皮細胞は繊毛を有し肺への異物の進入を予防している。また、頸部では気管と食道の横を反回神経が走っている。

気管はほぼ第5胸椎(T5)の高さ(前方では胸骨角の高さ)で左右の気管支に分岐する。気管内管内よりみたととき、この分岐部の高まりを気管カリナという。

気管支の構造には左右差があり、右の気管支は左に比べ太く・短く・下方に向かって分岐している。この構造的差異により、気管内に入った異物は右気管支へと入ることが多い。

分岐した気管支は肺内に入ると、葉気管支(上中下葉へ)から区域気管支(肺の各区域へ)と分岐を繰り返していき、最終的には終末細気管支から呼吸細気管支を通り肺細胞へとつながっている。葉気管支より末梢では、気管支軟骨は不規則となる。

肺も左右差があり、右が3葉(上・中・下葉)・左が2葉(上・下葉)に分かれ、右肺の方が大きくなっている。

指導のポイント⑨:

気管・気管支・肺は通常見ることができない。すなわち、喉頭展開・喉頭鏡で目視しているのは解剖学的には喉頭口とその奥の声帯であり、気管以降の気道は直接目視していない。

気管は最初の輪状軟骨を除き、すべて馬蹄形の気管軟骨で形成され、頸部にあり管状であり、内腔が開いてしまわないようになっている。

特に喉頭入口軸と気管軸が異なる点を強調すべきであろう。このため、スタイレットを用いた気管挿管では、声帯以降にスタイレットが入るとスタイレットの角度と気管軸が異なるため、気管損傷を起こす可能性がある。

また、気管が気管支に分岐する高さの理解は重要である。挿管位置が深い場合の状態と合併症についても理解させるべきであろう(図 1-15)。

### 3.小児と成人の解剖学的相違

小児と成人における頭頸部の解剖学的構造は大きく異なる。ここでは特に成長に関連した事柄とともに述べる。

指導のポイント⑩:

小児、特に乳幼児期における頭頸部の解剖は成人と大きく異なる点を理解させる必要がある。

頭蓋骨は脳が存在する脳頭蓋と、眼窩・鼻腔・口腔を構成する顔面頭蓋に分類することができる。脳頭蓋は生後 1 年半で大泉門が閉鎖し成長の速度が鈍るのに対し、顔面頭蓋は年齢とともに変化し続け、特に生後 6～7 年は成長が著しい。この変化は上顎骨や下顎骨の発達によってもたらされ、歯牙の萌出と関連している。これらの理由により乳児期(出生～1 歳)においては成人に比べ口腔内の容積は小さい。

喉頭も年齢により変化する器官である。喉頭の位置は新生児期(出生～4 週)には成人に比べ 1～2 椎体上位に存在し、喉頭蓋の位置も高い。これらの構造により、乳児では口呼吸よりも鼻腔を通り呼吸する鼻呼吸の方が理にかなっている。成長に伴い喉頭の位置は下がり、また思春期以降、男性では喉頭隆起が突出し、声帯長が伸びるなどの性差を生じる。

小児の気道は成人に比べ全体的に細いが、小児は成人と異なり、特に輪状軟骨が気道における最狭窄部位となっている。様々な要因で小児の気道で粘膜浮腫が起こると、成人に比べ容易に呼吸困難・気道閉塞となる(表 1-2)。

### 4.気道の体表解剖と立体的構造(周囲の構造との関係)

気道は顔面頭蓋から頸部、胸部と広範囲に伸びている。顔面頭蓋や胸腔内の臓器は体表から触知できないが、このうち頸部にある喉頭や気管は体表から触れることができ、周囲の構造との相互関係を知ることができる。

指導のポイント⑪:

救急救命士は現場において体表より人体内部構造を特定しなければならないため、一般の医療職種以上に体表解剖学や頸部と周囲の構造を理解させる必要がある(図 1-16,1-14、写真 1-1)

頸部は前頸部・外側頸三角部・後頸部の 3 部に分けられる。前頸部で注意すべき点は甲状腺・気管・食道が頸筋膜前葉でできる鞘に包まれていることである。内頸静脈・総頸動脈・迷走神経は別に頸動脈鞘と呼ばれる構造で包まれており、食道と椎骨の外側に位置している。また、頸筋膜前葉・頸動脈鞘の間には交感神経幹が位置している。

体表から解剖学的な位置を同定する際に基準となるのが骨(軟骨)である。気道に関連し頸部で触れる骨・軟骨は舌骨・甲状軟骨・輪状軟骨・気管軟骨の一部である。

舌骨は下顎骨から下顎底に沿っていくと、頸部との角をなす部分に触れることができる。舌骨は第 4 頸椎(C4)の高さにあり、この位置では胸鎖乳突筋の前縁を押し込むことにより総頸動脈(この部分は内外頸動脈への分枝部に相当する)に触れることができる。また第 4 頸神経からは横隔神経が頸神経叢の一部として出ており、呼吸運動にとって非常に重要な部位となっている。気道内部では舌骨の後面に喉頭蓋軟骨が位置している。

甲状軟骨は喉頭隆起という高まりがあり、体表から一番触れやすい構造で、第 5 頸椎(C5)の高さにあり、この軟骨内部に声帯がある。

輪状軟骨は喉頭隆起から下降していき、輪状甲状靭帯の凹みを越えたところに触れることができる。第 6 頸椎(C6)の高さにあり、輪状軟骨が喉頭と気管・咽頭と食道の境界となっている。また喉頭から気管にかけて唯一全周性の軟骨のため、小児の気管(成人では声門)や食道の生理的狭窄部位となる。医師が行う緊急喉頭穿刺は輪状軟骨の上の輪状甲状靭帯を、気管切開は輪状軟骨の下方の気管で行われる。このように輪状軟骨は頸部の外科的な処置の際の基準となる。成人において輪状軟骨の高さでは正中に甲状腺はほとんど存在しないが(時に錐体葉が正中に存在)、左右には甲状腺が存在している。

## 5. 嚥下運動

人が生きていく上で気道は常に開通し確保されている。しかし、誤嚥が起こらないように食物を嚥下するときのみ気道が閉鎖される。この嚥下運動を理解することにより、逆に気道を確保する際にどのような手技を行えばよいのかが理解できる。そのためここでは嚥下運動について説明する。

嚥下運動は口腔期・咽頭期・食道期の 3 相に分けられる。

### ① 口腔期

食物が咀嚼され、舌背に乗って後方に送られる。

### ② 咽頭期

食物が咽頭に入る。この相では食物が鼻腔・口腔に逆流しないよう、また気管に誤嚥されないよう、複雑な運動が反射により行われる。鼻腔への食物の逆流を防止するため、まず軟口蓋が挙上するとともに上咽頭収縮筋が収縮し後方から咽頭壁を軟口蓋に押しつける。また、口腔への食物の逆流を防止するため舌が後退し口峽を閉鎖する。

気管に食物を誤嚥しないようにするメカニズムについて、もう少し詳しく説明しよう。咽頭後部に入った食物は反射的に中・下咽頭収縮筋の運動により食道へと送られる。このとき舌骨上筋群の働きにより、舌骨とともに甲状軟骨が前上方に引き上げられ、気管に食物が入らないようになっている。同時に喉頭蓋は後退した舌によりやや下制されるが、喉頭蓋自体が筋により単独で下制されるのではない点が重要である。また喉

頭蓋は逆 V 型をしており、食物は左右に流れて梨状陥凹の方向を通過することにより気管に入りにくくなっている。さらに、喉頭口の披裂喉頭蓋ヒダや声帯も閉じる方向に働いて誤嚥を防止するとともに、気管内に進入した異物は咳嗽によって排出される。

### ③食道期

蠕動運動により食物が胃に送られる。

これらを統合すると、生体で嚥下の際、気管を閉鎖するのは喉頭部が前上方に引き上げられることにより起こることが分かる。すなわち、気道を開くためには逆の力を加えればよいこととなる(経鼻エアウエイの挿入による後鼻口の開放・舌を前方に挙上:各種用手気道確保法や喉頭展開、喉頭を後方に押さえつける: BURP 法等)。

指導のポイント⑫:

嚥下運動は生理的気道閉鎖状態であり、この動きを理解することにより逆に気道確保の原理を理解させる。

図による説明を加え、嚥下運動の理解を深めさせた上で、各種気道確保法がこの生理的気道閉鎖とどのように拮抗した動きかを理解させる(図 1-18、1-19)。

オトガイ挙上、修正下顎挙上法等: 下顎骨及びそれとつながる下を前方に引き出し  
気道確保

経鼻エアウエイ: 後鼻口を開通させ舌根部までチューブを挿入することによって気道確保

経口エアウエイ: 舌根部を持ち上げることにより、気道確保。空気は E 型のエアウエイの両脇を通る。

ここで、BURP 法について質問が出るであろう。BURP 法では甲状軟骨を後上方(更にやや右より)に押すことが推奨されている。嚥下の際に甲状軟骨が移動するのは前上方である。そのため、単純に甲状軟骨を押し上げるのみでは当然気道閉塞の状態に近くなる。すなわち、BURP 法はセリック法と異なり、喉頭展開下で視線軸上に喉頭口を近づける操作であり、不適切な操作によっては気道狭窄状態に近くなる点を理解させる必要がある。

## 6. 気管挿管の実際と解剖学的知識の関連づけ

### (1) 喉頭展開

気管挿管時の喉頭展開では、まずはじめに挿管実施者及び傷病者のポジショニングが重要である。

挿管実施者は、狭い口峽を通して深部の喉頭口(声帯)を目視するために、挿管実施者の視線が傷病者の正中軸に沿っている必要がある。視線が左右にずれている場合、喉頭展開しても声帯が目視できない場合がある。

傷病者のポジショニングに関しては、咽頭腔を広げ、直角に近い咽頭軸と口腔軸を

一致させるため頭部に枕を挿入したり、頭部を後屈させる必要がある。ただし、外傷時に頸椎損傷が疑われる場合には頭部後屈させることはできない。

口唇と歯列を開き喉頭鏡を口腔内に進めるのはこれらのポジショニングがすべて整った後となる。

#### 指導のポイント⑬: 気管挿管のポジショニング

スニッフイングポジションとは、仰臥位で頭頸部を前方に前額面を一定に保ちながら移動させるものである。麻酔科領域においては数多くの研究がなされているが、解剖学的に口腔軸や咽頭軸・気管軸の関係を変化させるものではない。

一般的に気管挿管のために喉頭口及び声帯を直視するには、上切歯から喉頭口までの直線上に障害物が存在しない必要がある。また、視野を確保するには上切歯の位置を相対的に下げるか、直線上の障害物を少なくし圧排しやすくする必要がある。

スニッフイングポジションをとることにより相対的に舌骨が前方に移動し、少ない喉頭展開で視野を確保しやすくなる。またそのポジションからやや頭部後屈を加えることにより上切歯の位置が相対的に下がり、視野を確保しやすくなることもある(図 1-20、1-21)。

単純な頸部後屈は頸椎全体に外力がかかり、頸椎の彎曲が強くなるのみである(写真 1-3)。

なお挿管のポジショニングは傷病者の体格等により個人差があり一概に決まった高さや角度を出すことはできない。また外傷患者に対しては頸椎保護の観点からこれらのポジショニングは適当ではない。今後、頸椎保護と適切な気道確保が同時に行える器具又は手技の開発・承認が望まれる。

喉頭鏡を口腔内に進めるにあたり、口唇や歯牙の欠損を起こさぬよう注意する必要がある。これは挿入時のみでなく喉頭鏡操作中を通じて注意する必要がある。

喉頭鏡はそのL字型のブレードの構造上、右の口角近くより挿入し・ブレードで舌を左側によけるようになっている。舌根部ではブレードの先端が喉頭蓋谷に入るため、舌を完全によけきることはできない。口峡や舌根部は軟部組織でできており、外力で容易に変形するため、咽頭喉頭部で目標となる硬組織は喉頭蓋(軟骨)しかない。喉頭蓋は舌根部のすぐ下方にあるため、喉頭鏡のブレードを挿入し喉頭蓋が確認できない場合はブレードが深く入りすぎている可能性が高く、それ以上ブレードを進めるのは危険である。

喉頭蓋が確認できれば喉頭鏡のハンドル軸に向かい喉頭鏡を引き上げると喉頭蓋の奥に喉頭口、その先に声帯がみえてくる(写真 1-2)。指導のポイント⑭

## (2) 気管挿管の手技と解剖学的要点

気管チューブを右口角から挿入していく。このとき気管チューブはそのカーブを垂直ではなくやや寝かせた状態で挿入する必要がある。これは挿管実施者の声帯直視



の状態を可能な限り保つ(気管チューブが視線を遮らないようにする)ためと、気管チューブ先端が喉頭蓋を引っかけてしまわないようにするためである。

気管チューブの先端が喉頭蓋を越え喉頭口に達したら、気管チューブを垂直にし、声帯を越え気管内に進める。気管チューブを垂直にすることにより気管チューブ先端も垂直にV字形となり声帯を痛めずに挿入することができる。

さらに、気管チューブの先端が声帯を越えたところからスタイレットが気管内に入りすぎないように抜去するように指示する必要がある。カーブがついた硬いスタイレットを装着したまま気管チューブを進めると、気管壁を傷つける可能性があるためである。指導のポイント⑮

上記は気管チューブが正確に喉頭口から挿入できた場合である。しかし、気管チューブを垂直にした後にずれ等により気管チューブが進まない場合(抵抗がある場合)には気管チューブ先端が解剖学的に他の部分に引っかかっている場合があり、その場合は、無理に進めず一度抜去する必要がある。

気管チューブを留置する深さは成人では約 21cm とされている。これ以上気管チューブを進めるとその先端が気管支(通常右気管支)に入り込み、片肺挿管となる可能性が高いためである。

### (3) 介助者の手技

気管挿管は挿管実施者1人で行うことはできない。安全に気管挿管を行うためには挿管介助者が適切な準備及び介助を行う必要がある。適切な準備としては喉頭鏡や気管チューブの準備・確認等が含まれる。

介助方法のいくつかに関しては、介助者自身が気管挿管に関する解剖生理学的特性を熟知している必要がある。

挿管準備段階では患者のポジショニング介助、スタイレットのカーブを決めるなどの必要があるためである(どちらも気管軸と口腔軸に関する解剖学的知識が必要)。

また、喉頭展開時には挿管実施者の声帯確認を容易にするため、挿管実施者の指示で BURP 法により甲状軟骨を押さえたり、右口角を引いたりする(喉頭鐘の構造や喉頭の解剖生理学知識が必要)。

さらにはスタイレットの抜去のタイミング等も知っている必要がある(喉頭から気管にかけての解剖学的知識が必要)。

上記の介助は必須のものではないが、介助者がこれらの知識をもたないことにより傷病者に過度の侵襲を加える可能性がある。挿管後の適切なカフ圧等も知っている必要があるだろう。

以上により、気管挿管実施者が事前に介助者の教育を十分行う必要があると考えられる。指導のポイント⑯

## 7.おわりに

実際の症例に合わせた挿管手技や臨床的な知識、生理学等は他の講義・教科書に委ねるが、通常気管挿管に関連した解剖生理学的知識のうち、最低限必要と思われるものを列記した。また、実際の気管挿管手技には解剖学的原理が非常に密接に関連していることを示した。

生体に侵襲的な処置を行う場合は、必ず正確な解剖学的知識を身につけておく必要がある。本書のみでなく解剖学アトラス等を活用し、更なる学習を行う必要がある。

実際の喉頭周囲の解剖は大学医学部等における解剖実習により飛躍的に理解度が増すと考えられる。基礎教育終了後、実際に病院実習に出る前に人体解剖見学を行うことにより、理解が深まり、より安全に臨床実習を行うことができると考えられる。教育方法の選択肢の一つとして考慮することも可能である。指導のポイント⑰

## 2 気管挿管に必要な生理の知識

### 1.はじめに

気道はいわゆる呼吸する上での空気の通り道であり、上気道、下気道に分類されている。解剖学的にはその発生過程などから、喉頭以下を下気道、それ以上を上気道としている。臨床の現場では、やや曖昧な部分もあるが、喉頭までを上気道としている(図 2-1)。

気道の働きとして、表 2-2 に述べる項目が重要と考えられる。ただし、気管挿管により、異物除去の一部や、加温や湿潤化という部分の機能は失われてしまう。

### 2.気道の生理と役割

#### (1)吸気に加温と湿潤化

気道内は粘液で覆われており、異物を吸着するとともに、吸気を湿潤化し、また暖めている。特に鼻腔内は、左右に上中下の鼻甲介があり、このため表面積が広く、その働きが大きい(図 2-2)。

気管挿管によってこの鼻腔の機能は失われる。指導のポイント①

## (2) 嚥下機能との分離

嚥下機能とは、気道内に食物が入らないようにしつつ食物などを食道へ送り込む働きである。

嚥下機能は、

- ①舌根が挙上し咽頭へ食物が流れる。
- ②喉頭蓋が、舌根の挙上とともに喉頭への経路をふさぐ。
- ③咽頭の筋肉の働きにより食物は食道へ押しやられる。

この三つの運動で気道への食物の流入を防いでいる(図 2-3)。指導のポイント②

## (3) 発声機能

喉頭には声帯という構造があり、呼気時にこの部分を振動させ音を出す。この音を、咽頭、口腔、鼻腔、副鼻腔で共鳴させ、構音を行う。声門の開閉状態の調節は、喉頭筋によって行われているが、これら喉頭筋は、迷走神経の分枝である反回神経の支配を受けている。このため、両側の反回神経麻痺で声門が閉じたままだと気道閉塞を起こすことがある。また、片側の麻痺では嗄声となる。指導のポイント③

## (4) 感染や異物への防御

### ① 免疫系

口蓋や咽頭周囲のリンパ組織(扁桃、ワルダイエル環)や常在菌の作用により気道への細菌の侵入を防いでいる(図 2-4)。

また、肺胞には多くのマクロファージが存在し、異物・細菌を貪食している。

### ② 粘液線毛クリアランス

気道は全体に粘液で覆われており、異物を吸着して吸気を清浄化し、湿潤させる働きをもっている。特に気管、気管支の表面は、杯細胞と線毛細胞があり、粘液が分泌され、線毛細胞により口側へ移動し、異物とともに排泄される。この一連の流れを粘液線毛クリアランスという。また、肺胞ではマクロファージが異物や細菌などを貪食し、炎症時には粘液などとともに痰として排泄される。

気管挿管を行うことは、これらの防御機能の一部を失うことになり、細菌などに感染しやすくなる。

### ③ 主な気道反射指導のポイント④

#### 〈くしゃみ反射〉

鼻腔内への異物などによる粘膜の刺激で起こる反射である。

三叉神経などから延髄を介し呼吸筋へ作用する。

#### 〈咳漱反射〉

喉頭や気管、気管支の粘膜への異物などでの刺激による。

有髄神経を介した反応の早い反射である。

これらの部位の受容体から迷走神経より延髄を介し呼吸筋に作用する。いったん声門が閉鎖した後に爆発的な呼気が起こり、異物などの排泄が起こる。

この反射の際は気管の収縮や攣縮、血圧上昇が起きるため、挿管時には刺激をできるだけ避けることが必要である。また、一時的に声門が閉じるため、その間気管挿管が困難となる。

#### 〈咽頭(嘔吐)反射〉

嘔吐は上部消化管の様々な部位の刺激により起きる(末梢性嘔吐)。また、中枢神経の直接的な嘔吐中枢への刺激によっても中枢性の嘔吐が起きる。前者は、咽頭や舌根部の刺激によっても起き、挿管時の喉頭展開などで問題となる。迷走神経、延髄の嘔吐中枢を介して、胃、咽頭に作用する。この際に胸腔、腹腔内圧の上昇も起きる。

咽頭異物の除去の反射でもあるが、厳密な意味では気道の反射とはいえない。気道管理においては望ましくない反射であり、刺激はできる限り避ける必要があり、この反射による誤嚥は窒息や肺炎の原因になる。

### 3.呼吸の生理

#### (1)腹式呼吸と胸式呼吸

呼吸は、外肋間筋、内肋間筋、横隔膜などの働きにより胸腔容積と圧が変化することで起こる(表 2-3)。主として外肋間筋の作用により胸式呼吸の吸気が、横隔膜の働きにより腹式呼吸の吸気がなされている。安静時は、これらの筋の弛緩、肺の弾性と内肋間筋の作用で呼気が行われ、筋の作用はわずかである。横隔膜の神経支配は C3～C5 であり、肋間筋は胸髄神経の支配である。深呼吸時や努力性呼吸時にはこれらの筋以外にも補助呼吸筋が働く(図 2-5)。

気管挿管し陽圧人工呼吸を行うことは、これら呼吸筋の働きを不要にし、呼吸筋の退縮を招く。指導のポイント⑤

#### (2)ガス交換、拡散

気道は 23 回の分枝を経て肺胞にいたるが、肺でのガス交換は 17 分枝以降、呼吸細気管支以降が担っており、それ以前は導管部と呼ばれる解剖学的死腔である(肺血流の問題で、肺胞でガス交換が行われない場合その肺胞も死腔となるが、それらすべてを含めたものを生理学的死腔という)。

肺胞でのガス交換は拡散というしくみでなされている。健常人の安静状態では、肺胞と毛細血管内の酸素分圧は平衡できるだけの血流の留まる時間がある(ただし、肺線維症など拡散障害を来す疾患では平衡に達するまで時間がかかる)。

大気圧は約 760mmHg である。気道内の水蒸気が飽和しているとすると、37 度で

分圧は 47mmHg ある。760-47mmHg×21(%) / 100 で約 150mmHg が肺胞内の酸素分圧となることが予想されるが、肺胞内は換気のため CO<sub>2</sub> が約 40mmHg 含まれており、そのような理由より肺胞内酸素分圧は約 100mmHg となる。肺胞内の酸素は肺胞上皮細胞(I 型細胞)、基底膜、血管内皮細胞の薄い層を通り血液内に入り赤血球のヘモグロビンと結合する(図 2-6)。

二酸化炭素は、拡散能が高く、肺の拡散能が低下しても肺胞内と毛細血管内の分圧はあまり変化しない。二酸化炭素は、血漿に溶解したり、重炭酸イオンとなったり、または蛋白質と結合しカルバミノ複合体として運搬されている。指導のポイント⑥

心肺停止となり、心臓マッサージなどで循環が少しでも改善した場合は、肺胞内に CO<sub>2</sub> が蓄積する。低酸素を避ける意味でも過換気にするぐらいが現実的にはちょうどよい。

### (3)換気と血流、シャント

前述したガス交換の効率は、換気(供給)と血流(需要)のバランスで決まる。

1:1 が理想であるが、死腔、シャントがあると値は変化する。ただし、基本的に供給(換気)過多で問題は起きないが、供給(換気)が少なすぎる、又は需要(血流)が大きすぎると低酸素となる。前者(換気過多)の効果を死腔効果、後者をシャント効果という。実際の間でも肺尖部では、死腔効果(換気大、血流小)が高く、肺底部ではシャント効果(換気小、血流大)が高い(図 2-7)。

体循環では、低酸素は末梢血管の拡張を促すものであるが、肺循環では、低酸素になると収縮し、他の換気のよい部分に血流を配分する低酸素性肺血管攣縮と呼ばれる機能があり、換気と血流のバランスをとっている。

### (4)呼吸不全

動脈血酸素分圧が 60mmHg を下回った状態を呼吸不全という。このうち CO<sub>2</sub> 分圧が正常又は低下しているものを 1 型呼吸不全、CO<sub>2</sub> 分圧が 50mmHg 以上のものを 2 型呼吸不全という。

低酸素血症になる原因としては、

- ①吸入気の低酸素分圧(高地や酸欠など)
  - ②肺胞低換気
  - ③拡散障害
  - ④換気、血流の不均衡
  - ⑤シャント
- である。

### (5)肺気量、肺コンプライアンス

## ①肺気量

スパイログラムやヘリウム希釈法などで、肺の様々な容積を測り肺の機能評価として  
いる。

機能的残気量は、安静呼吸の呼気終了時に残存する肺気量で、呼吸筋は弛緩し  
ており最も基準となる肺気量といえる。呼気予備量は機能的残気量から、最大呼出し  
た量である。その際残っている肺気量が、残気量である。

安静時 1 回換気量は、気管挿管後の換気量の目安になり、成人では約 500ml で  
ある(図 2-8)。

## ②肺コンプライアンス

肺の広がりやすさのことである。通常は、体積の変化量/圧の変化量で表現される。  
胸腔内圧(食道内圧)の変化で測定できるが、簡便な 1 秒率、1 秒量などから推測でき  
る。

値が高いほど、容易に肺は拡張し、値が小さいほど硬い肺(拘束性換気障害)といえ  
る。

気管挿管後のバッグ・バルブ・マスク換気で分かるほどの差異は認識できないだろう  
が、陽圧人工呼吸管理の際などは、気道内圧の変化で認識できる。

指導のポイント⑦

## (6)表面活性物質(サーファクタント)

風船が小さい場合には膨らますときに高い圧力が必要となるが、大きい場合には圧  
力はそれほどいらない。肺胞も換気の際に大きいものは空気が入りやすく、小さいもの  
は空気が入りにくくなることが予想されるが、1 型肺胞上皮細胞より分泌される表面活  
性物質(サーファクタント)の存在により、異なった大きさの肺胞も同様に空気が入り、ガ  
ス交換することができる(図 2-9)。肺障害により、サーファクタントが作用しなくなると、肺  
胞が広がらない部分ができ、シャントが発生し低酸素血症となる。指導のポイント⑧

## (7)呼吸中枢、化学受容体

脳幹部の延髄、弧束核とその周辺に背側呼吸ニューロン群が、疑核とその周辺に  
は腹側呼吸ニューロン群が存在する。これらが呼吸中枢である。

末梢化学受容体は、頸動脈体、大動脈体があり、主に  $P O_2$  の低下に反応し、それ  
ぞれ舌咽神経、迷走神経を介し呼吸中枢にいたり呼吸調節を行う。これらの小体は、  
 $P_{CO_2}$  や pH にも反応している。

中枢化学受容体は延髄腹側にあり、 $P_{CO_2}$  の上昇に反応する。慢性閉塞性肺疾患  
の場合、もともと高い  $P_{CO_2}$  により反応が鈍くなっており、高濃度酸素投与により呼吸  
が抑制され、 $P_{CO_2}$  が高くなり  $CO_2$  ナルコーシスと呼ばれる意識障害を起こす(図 2-10)。  
指導のポイント⑨

慢性閉塞性肺疾患の傷病者は、もともと呼吸性アシドーシスであり代謝性アルカロ

ーシスで代償している。気管挿管し急に過換錆にすると、過度なアルカローシスとなり危険である。

[参考・引用文献]

- 1)John B West 訳),堀江孝至:ウエスト呼吸の生理と病態生理.2002,3.
- 2)Jeremy P.T.Ward 訳),長尾啓一:一目でわかる呼吸器系.メディカルサイエンスインターナショナル,2003,9.
- 3)牛木辰男,小林弘祐:人体の正常構造と機能.vol 1 呼吸器.日本医事新報社,2002,6.
- 4)標準生理学.医学書院.

### 3.気管挿管・人工呼吸が及ぼす生体への影響

#### 1.はじめに

救急救命処置である気管挿管・人工呼吸に伴う生体への影響は組織への直接的損傷とこれに起因する機能的障害に分類される。

本章では、気管挿管・人工呼吸の各々について生体への影響を概説する。

#### 2.気管挿管が及ぼす生体への影響

病院前救護で救急救命士が行える気管挿管の適応は意識レベルが JCS300 で、心肺ともに機能が停止している場合である。したがって、気管挿管時に救急救命士が遭遇する生体への影響は、挿管後に蘇生した場合と病院実習で指導医の下で試行する場合に限定される。病院実習において対象となる患者は ASA-1 度(重篤な合併症がなく全身麻酔をかけられる待機手術)で Cormack/Lehane のグレード 1(声門の全体の視野が確保)が想定される。さらに、麻酔の急速・緩徐導入後に筋弛緩薬が与薬されているため、救急現場での気管挿管の適応傷病者と条件はほぼ一致するものと思われる。

##### (1)組織損傷

気管挿管では、挿管時の操作や留置後の気管チューブの圧迫による軟部組織損傷に起因する。

挿管時の操作では、喉頭鏡のブレードを口腔内に進めていく際に機械的に接触する可能性のある部位すべてが対象となる。具体的には口唇の挫滅創、歯牙の損傷、口腔内の粘膜剥脱・挫滅、喉頭蓋、喉頭蓋谷及び気管の損傷などが挙げられる(表 3-2)。指導のポイント①

気管チューブの挿入時はスタイレットが気管チューブから先に突出すると、気管損傷などが起こりうるが、それ以外では喉頭鏡操作による口唇、歯牙の損傷がある。

気管チューブの留置・固定後では気管チューブが粘膜を圧迫する部位、カフによる圧迫を受ける部位の血流障害による粘膜損傷が挙げられる。これが将来的な肉芽腫の原因となりうる(表 3-3)。指導のポイント②

気管チューブが接する部位の損傷は、病院前救護では搬送時の移動、病院内では体位交換などの医療処置に伴う頭部や頸部の動揺により影響が拡大する。

##### (2)機能障害

機能障害を来す場合、挿管操作時・操作直後の早期に発生するものと、気管チューブ抜管後の晩期に発生するものがある。

###### ①早期発生型

咽頭に分布している咽頭神経叢は舌咽神経・迷走神経・交感神経の末梢枝が複雑



に交錯し形成されている(表 3-4)。これらの部位が挿管操作により強く刺激されると様々な反応が現れる。特に、交感神経が優位となる場合・頻脈・高血圧が問題となる(表 3-5)。頻脈、高血圧は心筋の仕事量を増加させ心筋虚血に陥るため、心臓手術を行う際には薬剤を用い循環動態の安定が行われている。脳外科手術(特に脳出血の血腫除去手術)では、気管挿管時に高血圧を招来するため、頭蓋内圧を上昇させるため薬剤による血圧のコントロールが必要となる。

挿管操作で喉頭鏡操作時に喉頭蓋野の強い圧迫により副交感神経が刺激され、徐脈、低血圧を招くことがある(表 3-6)。これ以外にも実施者の体の一部が眼球を圧迫したり、他の原因で頸部が圧迫されると同様の反応が起こり、心肺停止の原因となることがある。

#### 指導のポイント③

内分泌・代謝の反応として、カテコラミン、成長ホルモン、コルチゾール、アルドステロンの放出が増加する。インスリンの分泌は低下し高血糖となる(表 3-7)。指導のポイント④

#### ②晩期発生型

気管チューブとの接触や過剰なカフ圧による圧迫により抜管後に咽頭喉頭部痛、嚥下障害、誤嚥性肺炎、嘔声、喉頭・声帯肉芽腫、気管狭窄の発症が挙げられる。また、気管上皮の線毛上皮も圧迫により粘液線毛輸送が障害され気管支炎などの呼吸器感染症を招くことがある。それ故、カフ圧を適正に保つことは重要である。エア注入の適量は気管チューブのパイロットバルーンを指で圧迫し、その感触(おおよそ耳たぶくらいの圧)で判定することがあるが、この方法はトレーニングを積んでも適量がえられないとの報告がある。カフ圧計はエア注入の適量が把握でき有用であり、その使用が推奨される。これにより組織損傷をはじめとする様々な合併症の予防になると思われる。組織損傷を最小限にすることで過剰な生体反応や合併症の発生を防ぐことが重要である。挿管操作においては常に慎重かつ、愛護的に実施することを心がける。

### 3.人工呼吸が及ぼす生体への影響

心肺機能停止傷病者では人工呼吸管理が必要になるが、その方法として、バッグ・バルブ・マスクによる手動的な換気と人工呼吸器を使用する場合がある。人工呼吸は生体に強制的に送気する陽圧換気であり、これが呼吸・循環動態に影響を及ぼすことを認識するべきである。

人工呼吸の最終的な目的は換気と酸素供給である。これらを効率よく行う方法として陽圧換気が実施されている。陽圧呼吸により、呼吸停止後に虚脱しかけている肺胞を再膨張させ肺胞での換気と酸素供給を維持することを可能とする。

一方、人工呼吸では気道内圧が上昇し、抗利尿ホルモンの作用により循環血液量が過剰となり、肺水腫を来すことがある。また、強い圧はこれにより肺破裂や緊張性気

胸の原因ともなる(表 3-8)。指導のポイント⑤

#### (1)循環動態への影響

正常な自発呼吸では胸腔内圧は常に陰圧である。陽圧呼吸では胸腔内圧が上昇し、静脈還流量を減少させる。静脈還流量の減少は心臓の収縮能を低下させ、心拍出量を減少させる。結果として血圧も低下する。蘇生により自己心拍が再開した場合は、呼吸については換気と酸素供給が維持できるが、循環では心拍出量の減少により細胞・組織への酸素供給量が低下することとなる。さらに、胸腔内圧の上昇は頭蓋内圧の上昇を来し脳灌流圧を低下させる。

#### (2)内分泌系への影響

人工呼吸では抗利尿ホルモンの分泌充進、心拍出量の低下により腎血流量が低下し体液の貯留傾向と尿量の減少が認められる。この結果、前述したように肺水腫を招来することがある。

#### (3)圧挫傷

持続性に陽圧を加え肺胞の虚脱を改善する呼気終末持続陽圧呼吸(PEEP)の併用により、肺胞が破裂し気胸の一因となりうる。破裂時に臓側胸膜の破綻を来し、胸腔内にエアが流出することにより気胸を発症する。加圧が持続すれば横隔膜、心臓を圧排し緊張性気胸となる。気胸は発症直後に判断することは困難であるが、胸部の皮下気腫が観察されれば臓側・壁側胸膜とも破綻していることを示しており気胸を疑うことができる(表 3-9)。指導のポイント⑥

## 4.心肺停止にいたる原因

### 1.はじめに

個体の死とは全細胞死にいたる一つの経過である。そして「心肺機能停止」や「心肺停止」もまたこの経過上の一過程である。

死と心肺停止との違いは蘇生の可能性の有無にある。死は「死の経過」の最終像であるので蘇生することはない。心肺停止は死とは異なり、わずかであっても蘇生の可能性が期待できる。それ故、心肺停止は救命処置の対象である。救急救命士が心肺停止者の蘇生に全力を傾ける理由がそこにある。

### 2.心肺機能停止と心肺停止

気管挿管を前提として心肺停止を考える場合には、改めて「心肺機能停止」と「心肺停止」の定義の違いを整理しておくことが重要である(表 4-2)。

「心肺機能停止」とは、心臓機能停止状態あるいは呼吸機能停止状態をいい、どちらか一方の機能が失われていれば要件を満たす。

「心肺停止」とは、心臓機能と呼吸機能が共に失われている状態であり、いずれかの機能が残存する場合、「心肺停止」ではない。

ここでいう心臓機能停止並びに呼吸機能停止については、平成 4 年 3 月 13 日に当時の厚生省健康政策局指導課長名で出された通達「救急救命処置の範囲等について(指第 17 号)」において明記されている(表 4-3)。

以上の法的な規制の下、従来からの特定行為にあった「自動体外式除細動器による除細動」は 2003 年 4 月に特定行為から除外された。また、「食道閉鎖式エアウェイ又はラリングアルマスクによる気道確保」や「乳酸リンゲル液を用いた静脈路確保のための輸液」は「心肺機能停止」状態の傷病者に施行できる。

しかし、気管挿管の適応は「心肺停止」に限られ、従来 of 器具を用いた気道確保より高度な技術を要すると位置づけられ、実施の適応が制限されている。

### 3.心肺停止の状態

#### (1)心肺停止と心臓死

心肺停止では心臓、呼吸の両機能のどれかが停止しているとされているが、事故による即死状態でもなければ心肺機能が同時に停止することは稀である。通常は心臓機能停止あるいは呼吸機能停止のいずれかが先行し、心肺停止にいたる。

心肺停止にいたる病態は、疾病特有の病態を背景に千差万別である。しかし、いずれの病気であっても病態が悪化していくと、最終的には、「心停止」、「呼吸停止」のいずれかに収束する。

それ故、心肺停止は一連の死の過程にあって蘇生可能と考えられる最終病態とい

えよう。救急救命士はこうした病態から傷病者の蘇生をはからねばならない。したがって。常日頃から死にいたりうるあらゆる疾病に対して、なぜ心肺停止にいたるのかを考え、何が原因であるのかを整理し、「心肺停止」に対処する力を養うことが重要となる(図 4-1)。

以下に、心肺停止にいたる原因を学ぶことの意義を示す。最近ではカーラーの救命曲線などを示し、一般市民への普及をはかっている(図 4-2)。

心肺機能停止が起こった場合、有効な蘇生処置を施さなければ心肺停止を経て死にいたる。

心臓機能停止(心室細動、無脈性不整脈等)が起こった場合、一般に 15 秒程度で意識が消失し、30 秒で呼吸が不規則となる。1 分で呼吸停止が始まり、3~5 分で不可逆的な脳障害を呈し、死にいたる。

一方、呼吸機能停止が起こった場合(完全気道閉塞等)、低酸素状態が進行し、全臓器の虚血(心臓虚血)から 10~15 分の間には心肺停止となり、死にいたる(表 4-4)。

心臓と呼吸のいずれかの機能が停止すると、組織の低酸素化から他方の機能も急速に障害され心肺停止にいたる。これは呼吸・循環器系からなる一連の酸素運搬が生命維持にとって必須のエネルギー代謝・ATP 産生を支えるからである。この ATP 産生の営みはほんのわずかな滞りも命とりとなる。つまり呼吸・循環器系の一連の酸素運搬経路あるいは組織における酸素利用経路も含め、いかなる部分に障害が起ころうとも、そのために酸素利用が滞れば急速に心肺停止に移行し、死にいたることを意味する。つまり、心肺停止にいたる原因とは、突き詰めてみると細胞への酸素運搬と ATP 産生障害にあると考えられる。

## (2)低酸素血症からの心肺停止

生命を維持するエネルギーである ATP 産生の障害原因の多くは、組織への酸素供給不全である。これは、ショック(循環障害)と低酸素血症の二つが原因として考えられる。

細胞の酸素供給が減少した状態を「低酸素症」と呼び、供給がなくなった状態を「無酸素症」と呼ぶ。こうした原因には、低酸素血性無酸素症や、酸素分圧( $PO_2$ )に異常を認めずとも酸素含有量( $CaO_2$ )低下を来す貧血性低酸素症、心拍出量や血圧低下、局所循環障害による組織の虚血性低酸素症などがある。細胞内で酸素の最終消費の場であり、ATP 産生の場であるミトコンドリアで、好氣的代謝が行える酸素分圧の限界値( $PO_2$  0.1~1.0)を下回ると、ATP 産生が維持できなくなる。他に糖やビタミン B 群などの補酵素の欠乏によっても ATP 産生は障害される(ビタミン B 欠乏症)(表 4-5)。

## (3)低酸素血症による組織障害

全身の各組織での低酸素による障害は、毛細血管静脈側の組織と毛細血管から距