

血液ガス分析の知識

～その一 酸素化能について～

守田 政宣¹⁾

宮崎大学医学部附属病院 中央検査部¹⁾

今回、動脈血血液ガス分析 (ABG) における酸素化能の評価について、酸素解離曲線 (ODC)・肺泡気動脈血酸素分圧較差(A-aDO₂)、また酸素投与中の評価方法として P/F比 (PF) について説明いたします。簡単に述べると、酸素化は呼吸により得られた空気中の酸素を肺で血液に取り込み、その後Hbにより組織に運ばれ消費されます。

その割合(FShunt)は、シャントした心拍出量(Qs)と総心拍出量(Qt)の割合で求めることができます。

【まとめ】

酸素化能は酸素解離曲線を理解し、特に曲線がシグモイドしている点がポイントになるのではないのでしょうか。さらに、P/F比やA-aDO₂の指標を追加することで正確性が増すと考えます。

【酸素解離曲線】

呼吸不全の診断基準は、動脈血酸素分圧(PaO₂)60mmHg以下、動脈血酸素飽和度(SaO₂)90%以下で、酸素化が不良な場合は吸入酸素濃度を増やすことで対処します。PaO₂とSaO₂の関係は酸素解離曲線で示され、酸素解離曲線の右方移動(Bohr効果)は組織が酸素を必要としている状態であると考えると理解しやすい。Bohr効果の要因は①PaCO₂↑ ②pH↓ ③体温↑ ④2,3-DPG (2,3-ジホスホグリセリン酸)↑ ⑤乳酸↑ であり、ヘモグロビンからよりたくさんの酸素が離れて、末梢組織に供給されやすい状態を示しています。

【酸素化能の評価】

血液酸素化の指標としては、①P/F ②A-aDO₂ ③シャントがあります。P/F比の基準範囲は室内空気吸入の場合は約500mmHgです。ARDSガイドライン2016では急性呼吸促拍症候群(ARDS)は、呼気終末陽圧換気(PEEP)5cmH₂O以上の人工呼吸管理下で、動脈血 P/F比が300 mmHg以下でARDSと診断されます。重症度判定は、200mmHg < 軽症 ≤ 300mmHg、100mmHg < 中等症 ≤ 200mmHg、そして重症 ≤ 100mmHgとなっています。またP/F比は、酸素投与時の酸素化能の評価としても利用され、FIO₂の設定確認にも利用されます。鼻カニューラ、簡易酸素マスク、リザーバー付き酸素マスクを使用した場合、それぞれの酸素流量目盛りによりFIO₂が算出されているためPaO₂を測定することでP/F比を算出することが可能です。A-aDO₂の基準範囲は10以下で低酸素血症の原因となる肺泡低換気、拡散障害、シャント、換気血流不均等を評価するのに有用です。シャントとは、肺胞内で完全に酸素化されることなく肺(肺胞)を通過する血液を意味し、

血液ガス分析の知識

～その二 換気能について～

太田 麻衣子¹⁾

医療法人 鉄蕉会 亀田総合病院¹⁾

【呼吸のメカニズム】

呼吸とは、酸素 (O_2) を外気から摂取し細胞内に移送するとともに、細胞内で産生された二酸化炭素 (CO_2) を外気に排出することである。

呼吸は「換気」と「ガス交換」で成り立ち、換気とは、呼吸運動によって空気を肺へと運ぶ働きであり、ガス交換とは、血液が CO_2 を肺胞に放出し、それが呼吸によって体の外に排出されることをいう。ガス交換は、肺胞と毛細血管の間で行われる外呼吸と、血液と組織細胞あるいは細胞内で行われる内呼吸とに分けられる。

呼吸の調節を行う呼吸中枢は脳幹の橋と延髄にあり、橋では呼吸の周期的なリズムの調整を行い、延髄では吸気中枢と呼気中枢による吸気と排気の調整を行う。呼吸の調整には、刺激の種類や関与する神経により「行動性調整」「化学的調整」「神経性調整」の3つの刺激が関わり、全身から様々な情報が呼吸中枢に送られることにより、呼吸中枢が横隔膜、肋間筋、呼吸補助筋を興奮させ、換気の調整を行っている。

【ガス交換のメカニズム】

ガス交換は、拡散によって行われ、外呼吸では静脈血と肺胞内、内呼吸では毛細血管と組織細胞とのガスの分圧差による拡散が生じ、ガス交換が行われる。

外呼吸では、肺胞内で拡散によって O_2 が肺胞から血管内へと移動し、 CO_2 は血管内から肺胞へと排出される。肺胞から血管内に移動した O_2 は赤血球と結合して抹消へと運ばれる。内呼吸では、組織細胞で拡散によって O_2 が血管内から組織へと移動する。組織細胞では、 O_2 をエネルギー産生に利用し、代謝によって産生された CO_2 が、拡散によって組織から血管内へと移動する。血管内に移動した CO_2 の大部分は赤血球内で HCO_3^- に変換されて肺へと運ばれる。

【呼吸不全と動脈血血液ガス分析 (ABG)】

ABG において、 PaO_2 は酸素化の指標として用いられ、 PaO_2 が 60mmHg 以下の場合には低酸素状態であることを示す。 $PaCO_2$ は肺胞換気の指標として用いられ、 $PaCO_2$ が 45mmHg 以上であれば低換気状態であることを示し、 $PaCO_2$ が 35mmHg 以下であれば過換気状態

あることを示す。

PaO_2 が 60mmHg 以下となる呼吸器系の機能障害、またはそれに相当する異常状態を呼吸不全といい、加えて $PaCO_2$ が 45mmHg 以下を I 型呼吸不全 (ガス交換不全による低酸素血症)、 $PaCO_2$ が 45mmHg より高い場合を II 型呼吸不全 (換気不全による高炭酸ガス血症) に分類される。

呼吸不全の状態に対しては、正常な換気を行えるように呼吸の補助を行う呼吸管理が必要であり、酸素化が悪い場合には酸素吸入が必要であるが、COPD など慢性呼吸不全の状態の患者で、 PaO_2 が 60mmHg 以下である場合に酸素吸入を行う際には CO_2 ナルコーシスを誘発する危険があるため、 $PaCO_2$ の値の変動と意識レベルに注意しなければならない。

臨床では、呼吸不全の治療には $PaCO_2$ の値を目標にするのではなく、呼吸性アシドーシスによるアシデミアの程度を指標とし、pH7.2～7.25 以上を保つことを目標とし、pH7.2 以下の換気不全に対しては補助換気で対処する必要があり、挿管人工呼吸管理、もしくは非侵襲的陽圧換気を行う。

呼吸不全のモニタリングについては、ABG による pH、 PaO_2 、 $PaCO_2$ 測定が有用であるが、単に ABG の数値だけを見るのではなく、呼吸のメカニズムを理解し、患者の既往歴や意識レベル等を含めた判断が必要である。

血液ガス分析の知識

～その三 酸塩基平衡について～

濱田 宏輝¹⁾

愛仁会 高槻病院 検査科¹⁾

【酸塩基平衡測定の意義】

私たちの身体を流れる血液の pH は 7.40 ± 0.05 と非常に狭い範囲に維持されている。もし pH がここから大きく逸脱すると、細胞の機能が停止して生命維持が困難となり死に至る。酸塩基平衡を測定する意義は、単にアシドーシス、アルカローシスを解釈することではない。そこからどのような病態が存在しているか、またその病態に対して身体がどう反応をしているかを推定することにある。本セミナーでは血液ガスの酸塩基平衡障害の4病態についての基本的な分類方法や代償についてなど、実際の症例を交えながら解説していく。

【酸塩基平衡の5STEP 診断法】

酸塩基平衡の診断は STEP の順に一つずつ段階を踏んでいけば解釈しやすくなる。今回は、そのための方法を5STEP 診断法として解説していく。

pre STEP 『情報収集と予測』

血液ガスの分析値を解釈する前に、まずは対象となる患者の病歴、症状、バイタルサインなどの患者情報を入手し、どのような病態なのか、その病態による典型的な酸塩基平衡障害を予測することが重要であり、これが実際の解釈の手助けにもなる。

STEP 1 『主病態がアシドーシスか？ アルカローシスか？』

pH 7.40 を基準としてアシドーシスかアルカローシスかを判断する。アシドーシスとは pH を酸性側に、アルカローシスとはアルカリ側にそれぞれ傾ける病態であり、それぞれの病態が、その程度に応じた強さで綱引きをしている。pH が 7.40 より低いか高いかで、どちらが綱引きに勝っているか（どちらが主病態か）を判断する。酸塩基平衡が「正常」と判断されるためには、pH、 PCO_2 、 HCO_3^- のすべてが基準範囲内にある必要がある。

STEP 2 『呼吸性か？ 代謝性か？』

① STEP 1 でアシドーシスと診断した場合
アシドーシスの原因は、酸 (PCO_2) が上昇する呼吸性的の場合と、塩基 (HCO_3^-) が低下する代謝性的の場合、もしくはその両方の3通りがある。 PCO_2 が上昇していれば、「呼吸性アシドーシス」、塩基 (HCO_3^-) が低下していれば「代謝性アシドーシス」があると言える。また、 PCO_2 上昇と HCO_3^- 低下の両方がある場合は、この時点で「混合性アシドーシス」となる。

② STEP 1 でアルカローシスと診断した場合

アルカローシスの原因は、酸 (PCO_2) が低下する場合と、塩基 (HCO_3^-) が上昇する場合、もしくはその両方の3通りがある。 PCO_2 が低下していれば「呼吸性アルカローシス」、塩基 (HCO_3^-) が上昇していれば「代謝性アルカローシス」、両方の異常があれば「混合性アルカローシス」となる。

STEP 3 『代償性変化が予測範囲にあるかをチェック』

酸塩基平衡障害が起きた際、肺（呼吸）または腎臓（代謝）の働きによって pH を正常範囲内に戻そうとする働きを代償性変化という。この反応は、一方の異常をもう一方が代償するという相互関係であり、代償作用の方向は、常に最初に変動した因子の方向に従う。たとえば、代謝性アシドーシスで HCO_3^- が低下すれば、その代償として過換気となり PCO_2 が低下する。逆に呼吸性アシドーシスで PCO_2 が上昇すれば、代償として腎臓での再吸収によって HCO_3^- が上昇する。STEP 3 では、この代償性変化の有無を確認すると同時に、それが予測範囲内にあるかを検討し、実測値が予測範囲内であれば代償機構は適切に作動したと判断し、予測から大きく外れる場合は他の酸塩基平衡障害が併存していると判断する。また、代償性変化とは 7.40 から遠ざかった pH を戻そうとする反応であり、7.40 を超える事はない。つまり、代償が生じて pH が 7.35～7.45 にあつたとしても、7.40 より低いか高いかを見れば、主病態がアシドーシスなのかアルカローシスなのかを判断できる。

STEP 4 『代償性アシドーシスの場合：アニオンギャップ (AG) を計算』

AG とは、血液が電氣的に中性（血液中の陽イオンと陰イオンの電荷の総和は等しい）であることを利用して、測定されない陰イオンを間接的にみたものであり、乳酸やケトン体などの有機酸が含まれる。STEP 3 の結果から代謝性アシドーシスであった場合は、AG 上昇の有無を分けることで、さらに詳細な鑑別ができるようになる。

『総合的判断』

STEP 4 までに導いた結論を、pre STEP で予測した酸塩基平衡障害と照らし合わせて総合的に判断します。ここでは、酸塩基平衡に関係する項目だけではなく、病歴やバイタルサインなどの患者情報、他の検査結果なども加味した上で読み解いていくと、より深い考察ができる。

【特別講演】

血液ガス分析、誰のために、何を求めて実施されるのか

羽川 直宏¹⁾

大阪市立大学医学部附属病院 救命救急センター／医療安全管理部¹⁾

4月…外では桜がきれいに咲き誇り、病院から見える公園にはたくさんの子供たちが桜の木の下でお弁当を食べていた。そんな平和な昼下がり、救命救急センターにはお構いなしに重症患者が運ばれてくる。4月から新たに医師として働きだした新臨床研修医たち。中でも最初の配属先が救命センターとなった研修医たちにとっては、そこはまさに戦場だった。意識障害を主訴に運ばれてきた患者は、医療スタッフの制止を振り払い、ベッドから起き上がろうとする。なんとか押さえつけ、研修医は震える手で指示された動脈採血を行った。ラミネートされた説明書を見ながら、検体を測定機械にセットし、合っているのかどうなのか不安な気持ちを抱えながら、結果が出るのを待った。数分後、無事に結果がプリントアウトされ、彼は安堵した。だがゆっくりしている時間はない。彼は急いでリーダー医師のもとへ駆け寄り、結果を渡そうとした時、リーダー医師は患者から目を話さず静かに言った。「何かわかった？」説明書通りに検査をして結果を渡せば終わりだと思っていた研修医は、慌ててまだ自分の手にあった結果用紙を読み上げた。「ペーハーは7.18、シーオーツ-29、オーツ-240、えっとエイチシーオーツは〇〇…」そこまで読んだが、その下にもたくさんの項目があるのに気づいた。彼は何を読み上げたらいいいのかわからず、無理矢理「…です。」と言って報告を終えた。リーダー医師は言った。「なんのために検査をしたのか考えろ。血糖値はいくつだ？Naは？乳酸は？冬だったら何を見る？…なぜこれらが大事かわかるか？」…もはや生きた心地がしないのは、患者ではなく、研修医の彼だった。

救急医療の現場では血液ガス検査を実施することが多いですが、その結果の「判読」に苦手意識を持っているメディカルスタッフは多い。実際私もそうでした。臨床検査技師さんも、せっかく代償性変化や温度補正を勉強したのに、いざ救急外来に顔を出してみると、何のために血ガスが測定されているのかわからず、結果を医師に手渡す、あるいは電子カルテに結果を送信して、あとのことは考えないようにする。そんな方々も少なからずいるのではないのでしょうか。親切心で異常値を報告しようとする、依頼したのは運悪く評判

の悪い医師。案の定、邪険に扱われ、もう二度としてやるかと心に刻む。だが、報告しなかったら、しなかったで、なんだか悪いことをしているような気持ちになる。救急医療に興味はありながらも、どう関わっていいのかわからない方、あるいは、当直業務などの負担から救急医療との関わりにストレスを感じておられる方もいらっしゃるかもしれません。

そこで本セミナーでは、救急医・看護師がどのように初期診療を進めているか簡単に解説します。外傷診療はすでにその初期診療法が JATEC (Japan Advanced Trauma Evaluation and Care) として標準化されていますが、疾病救急全般の初期診療に関する標準化は未だ確立されていません。そこで、臨床的推論に基づく疾病救急患者へのアプローチを EMEC (Emergency Medical Evaluation and Care) として策定し、それに基づくトレーニングコースを開催しています。本コースでは、医師と看護師が合同で複数回のシミュレーションに取り組み、主要症候で一貫した診療手法を習得するとともに、デブリーフィングを通して、互いの行動内容や目標、知識等を共有し、質改善のための討議を行っています。今回は、このアプローチ法をもとに、どのようなシーンで、どのようなことを考えて血液ガス検査が行われているか解説したいと思います。

POCT を扱う臨床検査技師は、救急医療チームに欠かせない存在であり、救急患者の disposition (処遇) を大きく左右する存在です。検査のプロフェッショナルとして、短い turn around time で精確な検査を行うのはもちろんのこと、患者の状態を把握し、なぜ検査が実施されたかを理解し、結果の解釈を現場で共に考え、共有する。救急検査技師の活躍の場は、検査室内に留まりません。臨床検査技師の立場のさらなる向上のため、そして医療人として患者の安心と安全に直接寄与することによって得られるやり甲斐を享受していただくためにも、POCT、特に今回は血液ガス検査の理解を通じて、救急医療との距離が縮まることを期待しています。