

適応のための評価

① パルスオキシメータ

酸素療法の適応の判断や、酸素流量の決定に当たり、動脈血酸素飽和度 (SaO₂) の測定が必要である。ここでは、SaO₂の測定に使用されるパルスオキシメータについて記述する。

1 酸素飽和度とは？

肺で取り込まれた酸素の運搬は、血液を介して行われる。取り込んだ酸素は、その大半をヘモグロビンが結合して運搬している。総ヘモグロビンに対して、酸素と結合したヘモグロビンの割合はSaO₂と示され、酸素化の指標となる¹⁾。

SaO₂は動脈血液ガス分析時に測定できる。一方で、より簡便で非侵襲的な酸素化の指標が求められ、日本の青柳卓雄により1972年に経皮的パルスオキシメータの原理が世界で最初に発明され、1975年に製品化された。経皮的に測定された酸化ヘモグロビンなどを元にSaO₂を算出したものが、経皮的動脈血酸素飽和度 (SpO₂)である。現在、酸素化の指標として広く使用されている。

2 パルスオキシメータの原理

すべての原子・分子には特定の波長の光を吸収する特性がある。ヘモグロビンは化学反応により構造が変化するが、各々の構造により光吸収のパターンが異なることから、その差異を利用してSpO₂を算出している(図1)²⁾。パルスオキシメータのプロープは光送信器と光検出器からなり、光が指の毛細血管を通過する(図2)。光送信器からは2つの異なる波長の光が送信されている。1つは660nmの赤色光であり、もう1つは940nmの赤外線である。これらの波長の光が指の毛細血管を通過する際にそれぞれ吸収される比率を測定し、酸化ヘモグロビンおよび還元ヘモグロビンの割合を算出している。これらを利用して以下の通りにSpO₂を算出している³⁾。

$$\text{SpO}_2(\%) = \text{HbO}_2 / (\text{HbO}_2 + \text{Hb}) \times 100$$

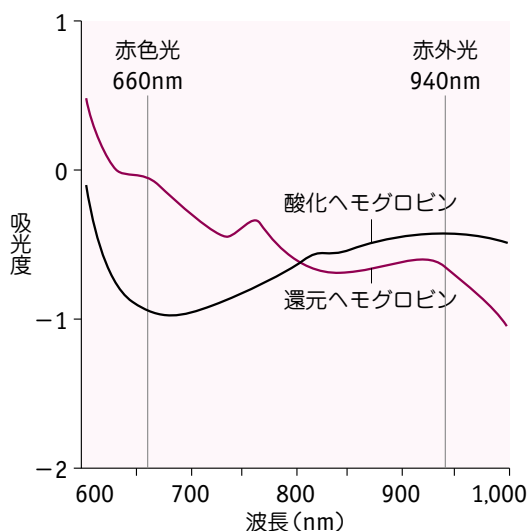


図1 ● 赤色光と赤外線波長の波長 (文献2より引用)

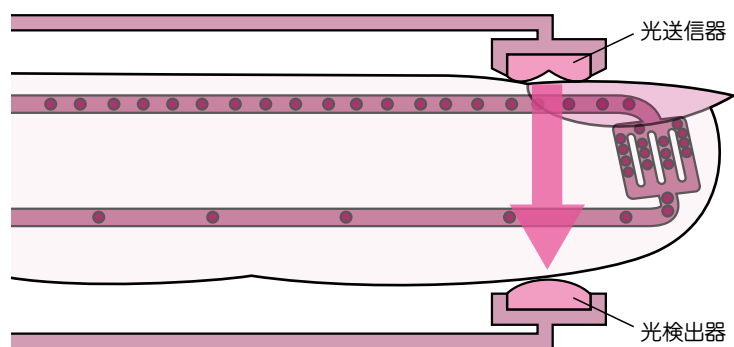


図2 ● パルスオキシメータのプロープ (文献2より改変)

3 パルスオキシメータの種類

パルスオキシメータは装置本体およびプロープについて、種々の種類のものが開発・利用されている。

装置本体には携帯型および設置型のものがあるが、在宅酸素療法 (home oxygen therapy: HOT) 導入においては労作時の SpO_2 もモニターできるよう、携帯型のパルスオキシメータが選択されることとなる。

特定の機器は、動作時のノイズ除去機能を持ち、一定時間測定した SpO_2 および脈拍を記録できることから、労作時の SpO_2 変化の評価に適している。さらに体動ノイズ除去機能も持ちあわせている機器であれば、より労作時の SpO_2 が正確に測定できる。

4 パルスオキシメータ利用時の注意点

パルスオキシメータの示す数値が、本来表示すべきSpO₂値と異なる場合があります、注意を要する。

① 一酸化炭素ヘモグロビン，メトヘモグロビン

一酸化炭素ヘモグロビンやメトヘモグロビンは、パルスオキシメータで使用している2つの波長では検出することができない(図3)。一酸化炭素ヘモグロビンもメトヘモグロビンも、2つの波長の差異からは酸化ヘモグロビンと認識されてしまうため、本来のSpO₂より高い値が表示されてしまう(メトヘモグロビンは硝酸薬やリドカインなどの投与時に増加するとされている)。一酸化炭素中毒を疑う場合は、直接動脈血を採取し、一酸化炭素分圧の測定可能な分析装置を用いる必要がある。

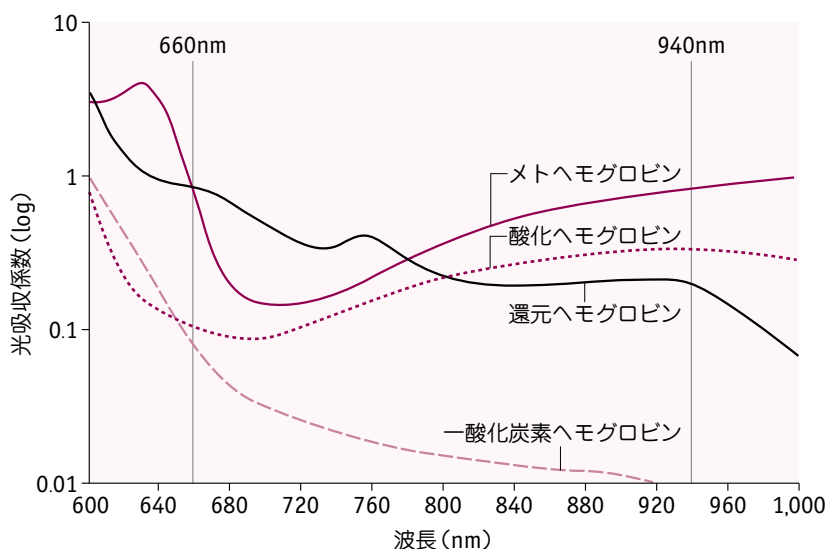


図3 ● 一酸化炭素ヘモグロビン，メトヘモグロビン

パルスオキシメータで使用している2つの波長では検出できない

(文献2より改変)

② 染色液の使用

肝機能検査において使用されるインドシアニングリーン(indocyanine green: ICG)、メトヘモグロビン血症の治療で使用されるメチレンブルーなどは、パルスオキシメータで使用される波長では還元ヘモグロビンとして認識されてしまい、本来の数値より低い値が表示される²⁾³⁾。

③ 血液還流の低下

局所の血流が減少している場合には、血流の変動が小さくなり、その他の組織と判別が困難となるため正確な数値を検出することができない²⁾³⁾。

④ 貧血

Hb 5未満の貧血が存在する場合には、局所血液還流と同様に正確な数値を検出することができない²⁾³⁾。③、④ともに重症の病態の場合に該当することから、パルスオキシメータの値を過信しないことが重要である。

⑤ 静脈拍動の増大

動脈の拍動を認識できなくなり、静脈内の酸化ヘモグロビンおよび還元ヘモグロビンも検出されてしまうため、SpO₂値は本来の数値より低値で表示される²⁾³⁾。

⑥ 光の干渉

手術時の无影灯や直射日光などの強い光は、パルスオキシメータからの光に干渉するため、正確な数値を検出することができない²⁾³⁾。

⑦ マニキュア、ネイルアート、つけ爪

プローブを装着した指の爪にマニキュアを塗っていると、マニキュアがパルスオキシメータのプローブからの光を吸収するため、正確な数値を検出することができない¹⁾。ネイルアートやつけ爪は光が透過しないので、指に対して90°回転させて装着することで測定可能になる。このとき、外から光が入らないように覆う。

●文献

- 1) 日本呼吸器学会肺生理専門委員会, 他編: 酸素療法ガイドライン. メディカルレビュー社, 2006.
- 2) Schnapp LM, et al: Pulse oximetry. Uses and abuses. Chest. 1990;98(5):1244-50.
- 3) Mengelkoch LJ, et al: A review of the principles of pulse oximetry and accuracy of pulse oximeter estimates during exercise. Phys Ther. 1994;74:40-9.

(坪口裕子)

処方の実際

① 安静時，運動時，睡眠時の流量設定

1 在宅酸素療法の適応

わが国において，在宅酸素療法 (home oxygen therapy : HOT) は慢性閉塞性肺疾患 (chronic obstructive pulmonary disease : COPD) をはじめとした慢性呼吸不全に対して幅広く普及している。一方で，HOTの導入にあたり，酸素流量の設定方法におけるエビデンスは限られており，主治医の判断で個々の症例ごとに設定されることが多いようである。

本項では，過去に報告された臨床データと筆者の経験に基づいた独自の意見を交えながら，具体的な酸素流量の設定方法について非専門医にもわかりやすく解説する¹⁾。

2 患者による“呼吸困難”の訴え

上手な酸素流量の設定を行うに際して，まずは以下のことに注意して頂きたい。

- ① 患者の訴える“呼吸困難”は，必ずしも“低酸素血症”由来とは限らない(本当にHOTの適応があるか考えること)
- ② HOTの導入を検討している患者がⅠ型呼吸不全か，Ⅱ型呼吸不全かの把握
- ③ 呼吸困難を伴わない低酸素血症の患者対応

疾患ごとの詳細は本書各論を参照されたいが，上記の中でもHOTの導入・設定における基本となるのは①である。

長期酸素療法 (long-term oxygen therapy : LTOT) は，あくまで低酸素血症に対する対症療法的な治療である。したがって，患者が呼吸困難を訴えても，その症状が低酸素血症を伴わない呼吸困難であった場合，LTOTの効果は多くの場合期待できない。正確な病態の把握を行わず，呼吸困難の訴えのみでむやみにHOTを導入することは，患者にとって医療上の利益をもたらさないばかりでなく，わが国の医療経済圧迫にも繋がり，厳に慎むべきである。

3 安静時の流量の設定

わが国におけるHOTの適応基準は、「動脈血酸素分圧が55Torr以下の者、および動脈血酸素分圧が60Torr以下で睡眠時または運動負荷時に著しい低酸素血症をきたす者であって、医師がHOTを必要であると認める者」とされ、HOT導入前に必ず動脈血液ガス検査を施行し、評価を行う必要がある。

また、動脈血液ガス検査を頻回に施行することは患者に負担なため、パルスオキシメータの値も参考にするとよいが、動脈血液ガス検査の評価を行わずにHOTを導入すると、後述のようにⅡ型呼吸不全を見落とし、思わぬ合併症を引き起こす可能性があるため、一度も計測しないことは、慎むべきである。

動脈血液ガスによる評価後は、酸素流量は動脈血酸素分圧(PaO₂)で60～70Torr、経皮的動脈血酸素飽和度(SpO₂)で90～95%程度を目安に酸素流量を調整するとよい。酸素流量の調整方法はⅠ型呼吸不全とⅡ型呼吸不全で異なることに注意する。

① Ⅰ型呼吸不全

Ⅰ型呼吸不全を呈している患者であれば、毎分1～2L投与より調整する。PaO₂、SpO₂は吸入開始後約10分、PaCO₂は約30～40分で安定するとされ、その後にパルスオキシメータでSpO₂を測定する。それでも酸素流量がまだ不足している時は0.5Lないし1L程度増量して対応すれば、おおむね問題ないと思われる。

② Ⅱ型呼吸不全

注意を要するのは、Ⅱ型呼吸不全を呈した患者の酸素流量の調整である。炭酸ガス蓄積の可能性のある患者に対しては、毎分0.5L程度の投与より慎重に施行し、血液ガス分析を行うことで、pHが7.35以下への急な低下を伴うPaCO₂の上昇を避けるレベルに設定すべきである。この手順を怠り、Ⅰ型呼吸不全と同様に酸素流量の設定を行うと、CO₂ナルコーシスを発症することがある。

なお、CO₂ナルコーシスの症状は、非専門医では傾眠や意識障害ばかりに注意が向きがちであるが、軽度の場合は頭痛や嘔気などの非特異的な症状のみを呈する可能性に注意すべきである。Ⅱ型呼吸不全を呈した患者に、HOT後に頭痛や嘔気などの新たな症状を認めた場合には、血中の炭酸ガス蓄積の可能性を疑い、動脈血液ガスの評価を行う必要があり、また、流量の設定を再検討することも念頭に置く。

4 労作時の流量の設定

“労作”の言葉の響きに、どの程度の運動強度までが受容可能なのか考えたことはあるだろうか。HOT導入にあたり、酸素流量決定のための運動負荷を、「100m走を全力で休みなく走り切る」など患者が耐えうる最大限の運動負荷を目標とすることは現実的ではない。実際の臨床においては、個々の患者が、自分のペースで散歩や買い物可能な程度の設定が現実的である。

なお、HOTの導入を検討している患者は高齢者が多いためか、筆者は患者から100mを全力で走りきれぬ酸素量を求められたことはないが、「趣味の登山ができるようにしてほしい」「旅行で遠出できるようにしてほしい」などの要望をしばしば受ける。その際は、患者の希望を無下に否定せず、個々の病状と予後に応じて可能なかぎり対応している。

具体的な労作時における酸素流量の具体的設定は、まずは安静時の約2~3倍を目安に調整する。その後、パルスオキシメータを用いて歩行中のSpO₂を指標に酸素流量を調整する。労作時においてもSpO₂は安静時と同様に90%前後を目標とすればよい。通常の鼻カニューレでは、最大流量でもSpO₂が維持できない場合は、酸素節約デバイス(☞II-3-5, p144参照)の使用が有用なことも多い。しかし、病状の進行した間質性肺炎や肺高血圧症では酸素を設定可能な最大投与量で行っても、目標のSpO₂に到達しないことがある。このように原疾患そのものの治療が困難で進行している場合には有効な対応策がなく、やむをえず労作の強度を下げるなどの対応にとどまらざるをえない。

なお、HOTの適応基準は前述の通りだが、適応基準外であってもHOTの導入が望ましい場合がある。坪井らの報告によると、PaO₂が61 Torr以上の48例の慢性呼吸器疾患患者に対し、歩行時のSpO₂を測定したところ、間質性肺炎の21例中10例、肺結核後遺症の11例中4例、肺気腫の16例中6例に、SpO₂の低下が認められたとされる²⁾。現行の基準外であっても、歩行時に酸素投与が必要となるような症例があることを認識しておく(表1, 図1)。

5 睡眠時の流量の設定

成井らの報告によると、覚醒時における肺結核後遺症およびそのほかの慢性呼吸器疾患において、安静時PaO₂と睡眠時SpO₂最低値との関係は正の相関関係があり、覚醒時PaO₂と睡眠時SpO₂ ≤ 85%の時間関係は負の相関関係を認めたとされる(図2, 3)³⁾。つまり、覚醒時に低酸素血症を認める症例は、睡眠時もその程度に比例して低酸素血症を長時間にわたり認めやすいことになる。ただし、実際の

表1 ● 安静時PaO₂が61Torr以上の慢性閉塞性呼吸器疾患を対象とした歩行試験

		安静時		室内気吸入時 SpO ₂ (%)		
		PaO ₂	PaCO ₂	歩行前	歩行後	△SpO ₂ (%)
肺気腫	non-D群 (n=10)	73.0±10.3	46.0±16.1	96.5±9.6	92.4±3.1	4.2±2.7
	D群 (n=6)	63.6±2.5	40.3±4.5	93.6±1.7	84.5±2.4	9.8±2.9
間質性肺炎	non-D群 (n=11)	79.3±10.2	40.0±4.3	96.6±0.8	92.3±3.3	4.1±3.2
	D群 (n=10)	66.1±6.9	39.3±7.0	94.8±0.9	82.7±3.9	12.8±3.7
肺結核後遺症	non-D群 (n=7)	76.4±5.6	42.6±8.9	97.1±0.7	93.1±1.7	4.1±1.6
	D群 (n=4)	62.3±2.3	53.0±5.6	95.7±2.1	85.7±1.5	10.4±1.9

		O ₂ 投与 SpO ₂ (%)			O ₂ 吸入量(L)
		歩行前	歩行後	△SaO ₂ (%)	
肺気腫	non-D群 (n=10)	—	—	—	—
	D群 (n=6)	97.0±0.8	89.5±0.8	7.7±0.5	1.8±0.4
間質性肺炎	non-D群 (n=11)	—	—	—	—
	D群 (n=10)	94.3±0.9	90.0±1.7	7.5±1.7	2.7±0.8
肺結核後遺症	non-D群 (n=7)	—	—	—	—
	D群 (n=4)	95.0±1.4	89.5±2.1	5.7±0.7	1.5±0.7

(mean±SD)

D群：歩行時低酸素血症あり，non-D群：歩行時低酸素血症なし

SpO₂が88%以下に低下した場合を低酸素血症と定義

(文献2より引用)

臨床においては、睡眠時における酸素流量は安静時と同値またはやや多めで対応可能な症例が多い。可能であれば、パルスオキシメータを用いて睡眠時SpO₂を連続測定し、睡眠中のSpO₂が90%程度以下になる時間が合計30分以下となる処方望ましい。

また、前述の労作時の流量設定同様に、睡眠時の流量設定においても、現行の適応基準外ながらHOTの使用を検討すべき症例は存在する。成井らの報告によると、覚醒時PaO₂が55Torr以上の27例において、睡眠時の低酸素血症の検討を行ったところ、肺結核後遺症の11例中10例、肺気腫の8例中1例、びまん性汎細気管支炎の4例中1例、気管支拡張症の4例中1例に低酸素血症を認めた(表2)³⁾。特に肺結核後遺症においては、覚醒時のPaO₂が55Torr以上であっても夜間低酸素血症をきたす頻度が高かったとされる³⁾。

注意すべきは、睡眠時無呼吸症候群の合併時である。睡眠時無呼吸症候群も上述の疾患同様、睡眠時にSpO₂低下が認められるが、この場合、睡眠時の酸素流量を増やすのではなく、持続的陽圧換気療法の導入が適切である。詳細はこの項では触