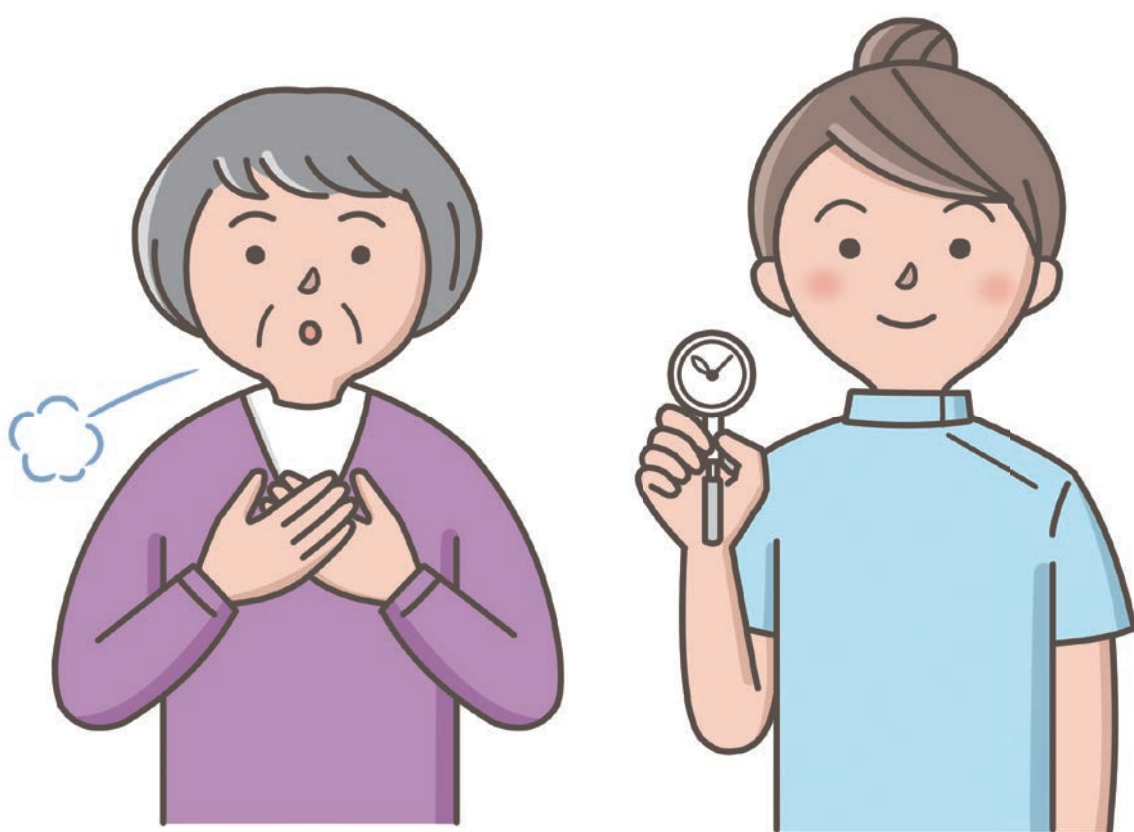


パルスオキシメータの基礎 SpO₂を読む話 Part2

息を読む話

～ SpO₂ & 呼吸数 二刀流の薦め ～



KONICA MINOLTA

目次

1	呼吸数ってどんな意味があるの？	3
2	古くて新しい呼吸数測定	4
3	呼吸数の読み方について	5
4	病状悪化の前兆としての頻呼吸	6
5	呼吸数測定を活かす	7
	日々の観察での呼吸数と Rapid Response System	
	敗血症を疑った時に、測定すべき呼吸数	
	肺炎を疑った時にはもちろん、呼吸数を測定	
	重要視される呼吸数	
6	症例から考える呼吸数の評価	10
まとめ	呼吸数と SpO ₂ を同時測定する意義	11
監修医師プロフィール		12
付 録	ちょっと深掘り 呼吸数を測定する各種原理	13



1

呼吸数ってどんな意味があるの？

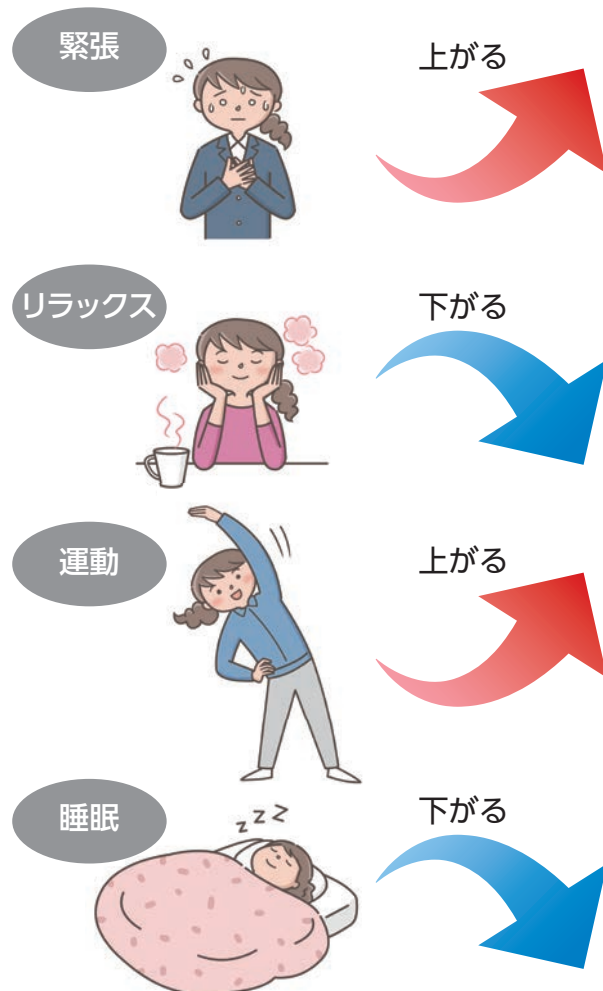
呼吸数は1分間にどれだけ呼吸（吸って吐いてを1回として）をしているかの数値です。

通常は12～20回/分ですが、呼吸数は意識的に変化させることができます。また、労作により呼吸数は増加し、情動の変化（緊張やリラックス）によっても、呼吸数は変動します。眠っているときには呼吸数は減ります。

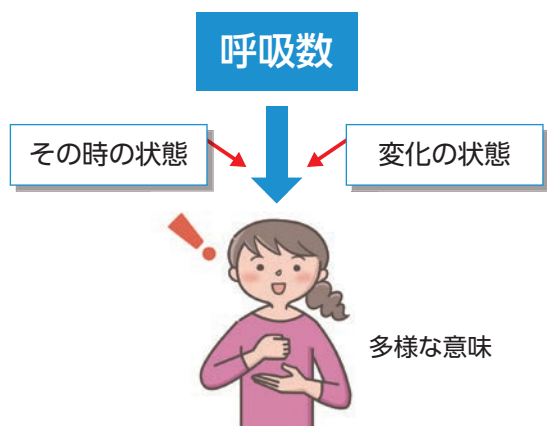
亡くなることを「息を引き取る」と表現します。眠るように亡くなるときは呼吸数は静かに減っていき、それに併せて心拍数も徐々に減り、最終的には心臓が止まることで息を引き取ります。

呼吸数だけであれば、その数値に特定の意味を見出すことは難しいですが、その時の状態や変化の状態と組み合わせることで、多様な意味を持ちます。

● 活動で変わる呼吸数



● 多様な意味を持つ呼吸数



頻呼吸と徐呼吸

呼吸は数や深さ、回数、周期の異常によって呼吸状態を評価します。

数の異常では
頻呼吸(20回/分以上)
徐呼吸(12回/分以下)
があります。

頻呼吸は心不全・肺炎・発熱・興奮などが原因で、徐呼吸は脳圧亢進・睡眠薬投与などが原因で起こります。

呼吸数



正常値
12～20回/分

2

古くて新しい呼吸数測定

医療者が病棟で入院患者さんをルーティンで測る体温や血圧などをバイタルサインといいます。基本的なバイタルサインは血圧、脈拍数、体温、呼吸数です。血圧、体温は100～200年前には専用測定器が発明されていましたが、脈拍数と呼吸数は医療者が時計で時間を測って、1分間の脈拍や呼吸の数を数えて測定していました。

1977年、コニカミノルタの指先で測れるパルスオキシメータ発明で、バイタルサイン測定の転換が始まりました。

パルスオキシメータによって、脈拍数と呼吸によって取り込まれた血液中の酸素量（動脈血酸素飽和度＝ SpO_2 ）が瞬時に測れるようになりました。

呼吸機能に問題があると SpO_2 が下がり、過呼吸では SpO_2 が上がることで、容態の悪化を的確に把握できる革新的な機器でした。

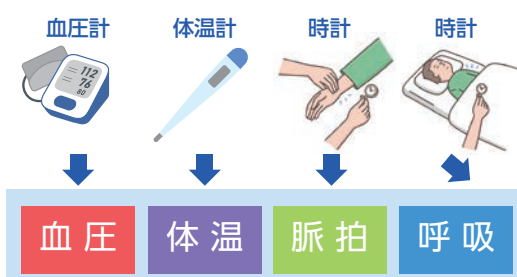
SpO_2 は4つの基本バイタルに加えて第5のバイタルと称されます。その簡便性から SpO_2 は呼吸状態の確認に代用されるようになってきました。パルスオキシメータで SpO_2 だけでなく、それまで指診であった脈拍数も同時に測れるようになりました。

機器で測定が可能な血圧、脈拍数、体温、 SpO_2 はどんどん記録されるようになる一方で、呼吸数は測らない、目視で数えていても記録しないという状況になりました。

近年、呼吸数測定の重要性が改めて注目されています。呼吸数はベッドサイドで評価が可能ですが、30～60秒間にわたって実際に観察計測する必要があり、最も測定されていないバイタルサインの1つになっています。

このような背景から臨床現場では、 SpO_2 のように簡易に呼吸数が測定できないかという声が高まっています。

● ～1977年



● 1977年～



● 近年



3

呼吸数の読み方について

成人の呼吸数の正常値は 12 ～ 20 回 / 分ですが、それより呼吸数が上がっても必ずしも病的異常とは言えません。例えば、運動している時や不安を覚えた時には、頻呼吸となり得ます。頻呼吸を認めた時に、その背景に「本当に病的異常がないか」を考える必要があります。呼吸数が増加する状態を説明するためには、下記のような用語がありますが、その違いには注意が必要です。

頻呼吸：呼吸数が 20 回 / 分以上のことを示します。

過呼吸：呼吸数が 20 回 / 分以上であるが、換気は正常に保たれている状況を示します。例えば、健常者が運動時に生じる頻呼吸は、運動の代謝に対する自然な代償として生じる頻呼吸であり、過呼吸と言えます。この時、換気量と反比例する動脈血二酸化炭素分圧 (PaCO_2) は正常に保たれています。

過換気：呼吸数が 20 回 / 分以上であるが、代謝の負荷を超えて不適切に換気が増加する状態を示します。この時、換気量と反比例する PaCO_2 は低下しています。

過換気症候群：心肺疾患とは無関係で呼吸と換気の不釣り合いが原因で起こり、自然に軽快する過換気が断続的に発生する病状です。一般に、数分～1 時間程度続き、自然に軽快します。精神的なストレス、身体のストレス（疲労、睡眠不足）、自律神経失調などが原因とされ、パニック障害や不安神経症、うつ病などの精神科疾患には合併しやすいとされます。合併症状として重症の低酸素血症や過換気後の無呼吸が報告されていますが、通常はその合併を生じることなく、軽快します。

医療者にとって重要な視点は、呼吸数と SpO_2 を把握することで、心疾患や肺疾患などの悪化を代償するために頻呼吸が生じているのではないかと予測することです。頻呼吸を安易に過換気症候群と判断することは危険です。



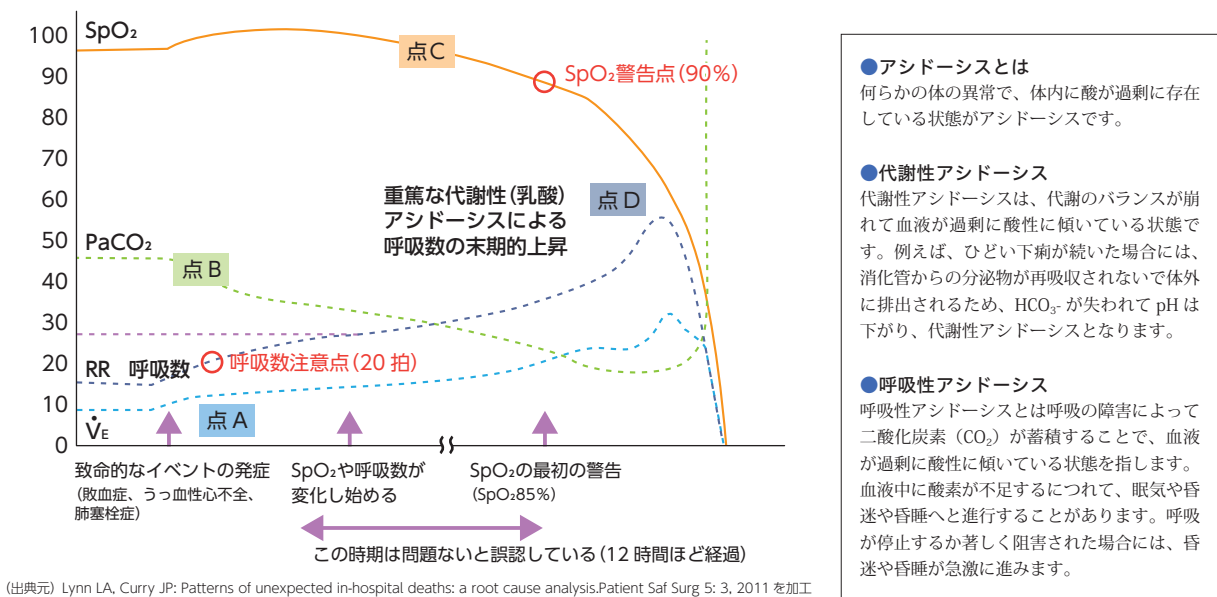
4

病状悪化の前兆としての頻呼吸

病院で心停止された患者さんの記録を調査した研究では、心停止の6～8時間前に70～90%のケースで前兆があったことが示されており、心停止した患者さんの70%はその8時間前に呼吸器症状の増悪所見を呈していたとの報告があります¹。現在、呼吸状態の評価にSpO₂が日常的に測定されています。しかし、SpO₂の測定は、非常に有用ながら、SpO₂の低下はある程度まで病状が悪化しなければ出現しがたいことに留意しなければなりません。

敗血症や心肺疾患などでは、病状の重症化が進行することで、末梢の組織循環不全や低酸素血症によって乳酸の産生が増加し、代謝性アシドーシス（乳酸アシドーシス 点A）が生じます。一方、代謝性アシドーシスの進行や低酸素血症の進行を抑制するために、呼吸数を増やして、換気量を増加させる代償機構が同時に働きます（代償性の呼吸性アルカローシス）点B。つまり、「末梢の組織循環不全が生じると、呼吸数を増加させる」という生体防御反応が生じています。そして、呼吸数で代償できない程に病状が進行すると、SpO₂の低下を伴うようになります点C。最終的には、組織循環不全による代謝性アシドーシスに加え、換気不全による高二酸化炭素血症によって呼吸性アシドーシス点Dを生じ、心停止に至ります。

下記の研究では、病状の悪化時には、SpO₂の低下よりも呼吸数の増加がより早期に認められていることが示されています²。より早期に病状悪化の前兆をとらえ、ベッドサイドで評価できる指標として、呼吸数は注目されています。



(出典元) Lynn LA, Curry JP: Patterns of unexpected in-hospital deaths: a root cause analysis. Patient Saf Surg 5: 3, 2011 を加工

5

呼吸数測定を活かす

(1) 日々の観察での呼吸数と Rapid Response System

近年の研究では、患者さんの66%は心停止の6時間前に異常な症状や徴候を示しているにもかかわらず、医師はその25%しか認識できていないことが示されました³。そこで、病状が重症化する前に徴候を検知し、介入することで予後を改善することができないかという考えが生まれました。

Rapid Response System (RRS) は、早期警戒スコアリングシステム (Early Warning Scoring System: EWSS) を用いて、ルーティンの観察を行い、危機的な状況にある患者さんを早期に見出し、適切な臨床能力、知識、経験を持った治療チームがいち早く対応するシステムです。RRS を院内で採用することで、集中治療室 (ICU: Intensive Care Unit) 外での死亡率を50%減少できることが報告されました⁴。また、手術後死亡率の減少、状態悪化後のICU入室までの心停止の減少、入院患者さんの心停止頻度の減少などのRRSの有用性を示すエビデンスが構築されました⁵⁻⁷。日本においてもRRSを採用する病院が増えています。

このRRSが適切に運用されるためには、危機的な状況となっている患者さんを見出す精度の高いスコアリングシステムが必要となります。また、ルーティン評価が前提となるため、日常的に簡便に実践できる評価項目から構成される必要があります。様々なEWSSのスコアが検討されてきましたが、評価項目としての呼吸数は、EWSS研究の88%で採用され、最も一般的な評価項目でした⁷。一方、SpO₂、体温、収縮期血圧は71%の研究で採用されていました。つまり、多くの研究者が病状の悪化を把握するための簡便な方法として呼吸数を評価していると考えられます。EWSSとして広く知られているNHS England, National Early Warning Score (NEWS) を下記に示します。呼吸数に割り振られたスコアからも呼吸数が重要視されていることがわかります。

● NEWS

パラメータ	3点	2点	1点	0点	1点	2点	3点
呼吸数 (/分)	≤ 8		9 ~ 11	12 ~ 20		21 ~ 24	≥ 25
SpO ₂ (%)	≤ 91	92 ~ 93	94 ~ 95	≥ 96			
酸素使用		あり		なし			
体温 (°C)	≤ 35		35.1 ~ 36.0	36.1 ~ 38.0	38.1 ~ 39.0	≥ 39.1	
収縮期血圧 (mmHg)	≤ 90	91 ~ 100	101 ~ 110	111 ~ 219			≥ 220
心拍数 (/分)	≤ 40		41 ~ 50	51 ~ 90	91 ~ 110	111 ~ 130	≥ 131
覚醒レベル				覚醒			不覚醒

NEWS スコア	重症度判定
≤ 4点	低リスク
1つでも3点を含む場合もしくは5~6点	中等度リスク
7点以上	高リスク

(2) 敗血症を疑った時に、測定すべき呼吸数

RRS とは別に、感染症を疑ったときには、その重症度を判定するために様々なスコアリングシステムが臨床応用されています。その中でも、敗血症の患者さんの死亡率を予測する上で、APACHE II score や SOFA score が広く用いられています。しかし、いずれのスコアリングシステムも評価項目が多く、ベッドサイドでの評価は難しいという問題点があります。そこで、より迅速にベッドサイドで判定するために quick SOFA (qSOFA) が考案されました⁸。qSOFA は、呼吸数、血圧、意識状態で判定され、死亡率と関連があります⁸。敗血症を疑う場合に、血圧計と呼吸数の測定のみで、迅速に判定が可能であり、どの程度の追加評価を行うべきかの判断に役立ちます。

● quick SOFA

収縮期血圧 ≤ 100mmHg	1 点
呼吸数 ≥ 22 回 / 分	1 点
GCS < 15	1 点

2 点以上 敗血症疑い GCS:Glasgow coma scale

(3) 肺炎を疑った時にはもちろん、呼吸数を測定

肺炎を疑った場合も、重症度を判定するために様々なスコアリングシステムが考案されています。Pneumonia Severity Index (PSI) は、市中肺炎の重症化リスクの判定にも用いられますが⁹、項目が多く煩雑です。そこで、より簡便なスコアとして、CURB-65 が開発されました¹⁰。この CURB-65 の評価項目には、呼吸数が含まれています。また、コロナ禍において普及した指標として、ROX index があります。ROX index は、ハイフローセラピーを行う患者さんにおいて、挿管リスクを判断するために考案されたスコアです¹¹。その有効性から、COVID-19 や敗血症の評価においても、有用性が報告されています^{12,13}。ROX index は、吸入酸素濃度、呼吸数、SpO₂ のみから評価できる指標*です。呼吸不全が高度である場合には、呼吸不全を代償するために呼吸数が増加します。ROX index は、スコアに呼吸数増加による代償を反映させることで、より正確な予測を可能としています。

$$\text{ROX} = \frac{\text{SpO}_2 / \text{吸気酸素濃度}^*}{\text{呼吸数 (回 / 分)}}$$

* 吸気酸素濃度は室内気では 0.21

※ ROX Index < 4.88 で挿管リスクが高い

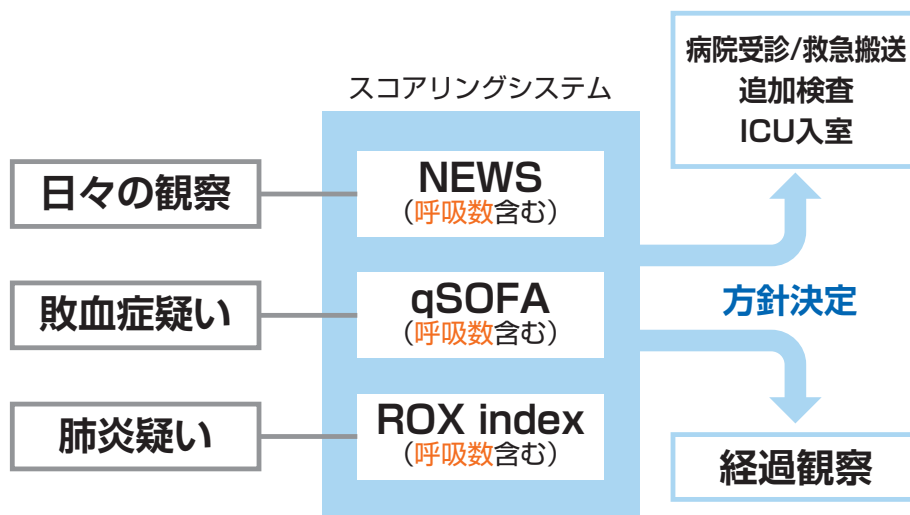
吸入酸素濃度 (酸素デバイス)	SpO ₂	呼吸数	ROX index	
0.21 (室内気)	90	25	17.1	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 5px;">↑</div> <div style="writing-mode: vertical-rl; text-align: center;">挿管リスク</div> </div>
0.40 [*] (鼻カニューレ 5L / 分)	90	25	9.0	
0.60 (HFNC)	90	25	6.0	
0.80 [*] (リザーバーマスク 8L / 分)	90	25	4.5	
0.80 (HFNC)	90	25	4.5	

HFNC : ハイフローセラピー

※推定値

(4) 重要視される呼吸数

上記のようにスコアリングシステムにおいて、呼吸数は非常に重要視されています。呼吸数には、大きな臨床的意義があり、診療の方向性を決定する上での重要な指標となります。



● 各スコアリングシステムにおける使用パラメータ

	NEWS	q SOFA	ROX
呼吸数	○	○	○
SpO ₂	○		○
脈拍数 / 心拍数	○		
血圧	○	○	
体温	○		
意識 / 覚醒レベル	○	○	
吸入酸素濃度	○		○

6

症例から考える呼吸数の評価

【症例】 75 歳 女性

【主訴】 呼吸困難

【経過】 変形性膝関節症で、人工関節置換術のために入院となりました。術後、呼吸状態は安定していましたが、術後 4 日目のトイレ歩行後にナースコールがありました。看護師が訪問すると、胸を押さえながら、苦しそうに一生懸命に呼吸をしていました。SpO₂ は 95% でした。ドクターコールの指示値には達しないものの、看護師は「何か急変が起きているのではないか」と不安になりました。

この後、あなたならどのように対応しますか？

- A) SpO₂ は 95% と保たれており、ドクターコールの指示値にも達しないので、医師には報告しないで、経過観察としました。
- B) SpO₂ は 95% と保たれていましたが、呼吸が苦しそうだったので、より正確に状況を判断するために客観的評価として呼吸数、脈拍、血圧の測定をしました。

【その後の経過】 呼吸数は 25 回 / 分でした。記録では昨日の呼吸数は 13 回 / 分であり、明らかに呼吸数の増加を認めていました。血圧に変化はありませんでしたが、脈拍数は 115 回 / 分と頻脈を認めていました。NEWS のスコアリングシステムでは、中等度リスク相当でした。

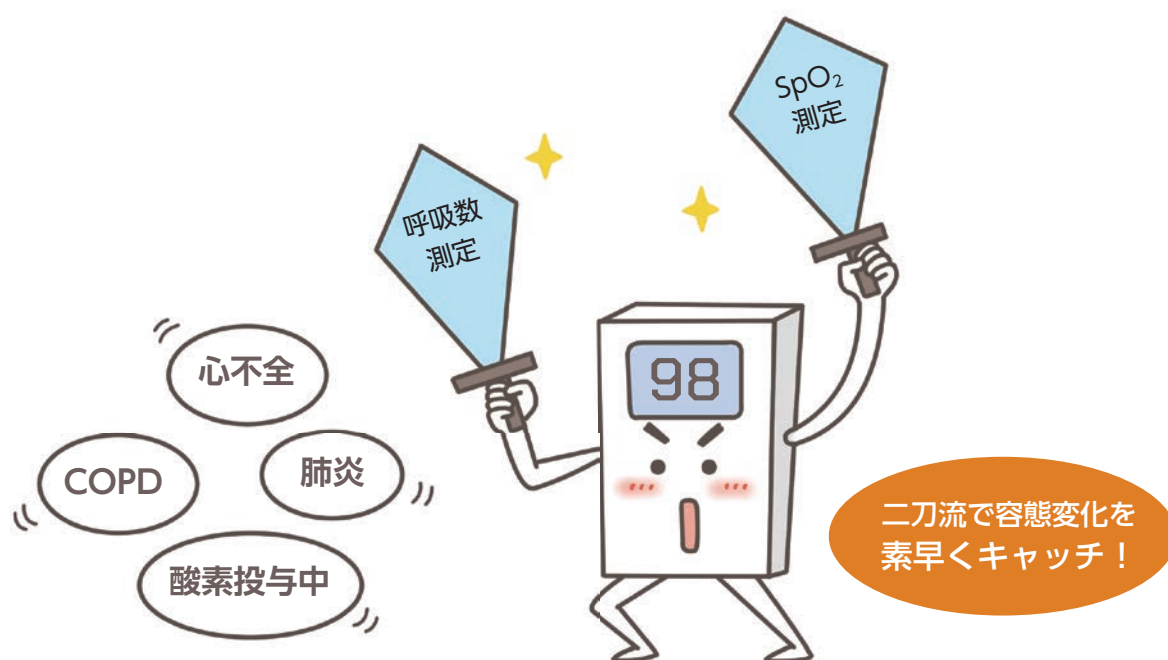
看護師は、医師に「トイレ歩行後から、SpO₂ は保たれるものの、呼吸数の明らかな増加を認めています」と報告しました。医師は、「整形外科術後であり、深部静脈血栓症からの肺動脈塞栓症の可能性があります。すぐに造影 CT 検査を行いましょう」と判断しました。

緊急の造影 CT 検査で、深部静脈血栓症ならびに肺動脈塞栓症と診断され、すぐに抗凝固療法が開始となりました。本患者では、発見が遅れ、病状が悪化した場合には、致命的となった可能性があります。

【教訓】 本症例は、看護師が客観的な指標（呼吸数）を用いることで、より説得力を持って、医師への対応を依頼できていました。その結果、迅速な診断とその後の適切な治療に結び付いています。

まとめ 呼吸数と SpO₂ を同時測定する意義

本稿では、呼吸数の意味、そして、呼吸数を測定することで、病態悪化を早期にとらえることができる可能性を示しました。また、呼吸数の測定が、様々なスコアリングシステムに採用され、多くの病態において、臨床応用されていることを示しました。ただし、呼吸数の測定の問題は、不安や緊張といった情動による影響を受けうることです。一方、SpO₂ は、不安や緊張といった情動の影響は受けがたいと考えられます。例えば、呼吸困難を訴える頻呼吸の患者さんにおいて、頻呼吸のみの場合は、精神的な影響の可能性もあり得ます。しかし、頻呼吸に SpO₂ 低下を伴っている場合には、決して精神的影響だけでは考えられません。我々は、SpO₂ と呼吸数を同時に測定することで、呼吸数と SpO₂ の欠点を補い合い、より迅速かつ正確な病態把握を実践することができると考えます。



監修医師プロフィール



北島 尚昌 先生

公益財団法人田附興風会医学研究所北野病院

呼吸器センター 呼吸器内科副部長

2009 年 3 月 福井大学医学部医学科卒業

2011 年 4 月 公益財団法人田附興風会医学研究所北野病院呼吸器内科 後期研修医

2014 年 4 月 公益財団法人田附興風会医学研究所北野病院呼吸器内科 医員

2020 年 4 月 公益財団法人田附興風会医学研究所北野病院呼吸器内科 副部長

専門医資格

日本内科学会総合内科専門医・指導医

日本呼吸器学会呼吸器専門医・指導医

日本呼吸器内視鏡学会気管支鏡専門医

日本アレルギー学会専門医

日本がん治療認定医機構がん治療認定医

〈施設紹介〉

公益財団法人 田附興風会医学研究所北野病院

呼吸器内科

当院は、大阪駅のほど近くに位置し、685 床を有する総合病院です。医療情報専門サイト m3.com が行った「医師が働きたいランキング 2023」において、全国 6 位（近畿 1 位 2 年連続）に選出されました。呼吸器診療域の全般において、最新の診断・治療と共に「患者さんに近い医療」を提供することを目指して、診療・教育・研究を行っています。当院での研修・診療に興味がある方は是非ご連絡ください。



目視観察法：観察による呼吸数測定

自ら測定するときは、時計を見ながら、胸部や腹部に手を置き、呼吸数を測定します。患者さんの場合も同様ですが、患者さんに「医療者が呼吸数を測定している」と感じ取られると、呼吸数に影響が出ることがあります。呼吸数測定を悟られないように、脈拍数測定を行っているふりをして、横目で胸の動きや呼吸補助筋の動きを診て、呼吸数を測定する場合があります。時計を見ながら 1 分間の呼吸を数えます。時間を短縮する場合には、30 秒観察し呼吸数を 2 倍にする、あるいは 15 秒で 4 倍にして 1 分間当たりの呼吸数に換算します。観察による呼吸数測定は、不確実性と時間がかかるというデメリットがありますが、それでも他の方法と比較すると簡便かつベッドサイドで実施可能であり、最も一般的な方法です。

スパイロメトリー法

この検査方法の主な機能は、肺気量または 1 回換気量を測定することによって肺の機能状態を記録することです。肺活量測定を使用して肺の呼吸機能を測定することができます。検査中、患者さんは、鼻をクリップで閉じて、マウスピースを通して「スパイロメータ」に息を吐きだします。スパイロメータは、吸入および呼気の量、および呼気の色を測定します。呼吸中に移動した空気の量をグラフ上にマッピングされたもので評価することができます。この方法は非常に正確であり、複数の呼吸パラメータを同時に測定するために使用できますが、患者さんの自然な呼吸に影響を与え、呼吸数の連続測定には適していません。

カプノメトリー法

カプノメトリーは、患者さんの呼気中の二酸化炭素のレベルを測定するために使用されます。麻酔や人工呼吸器患者のモニタリングによく使用されます。カプノメトリーは、呼吸数の測定にも使用できます。この方式での測定は高精度であり、呼吸数の連続測定にも適しています。しかし、鼻腔カニューレや器官チューブ等を装着する必要があるため使用する患者さんには不快であり、記録されたデータを分析するには特別な機器が必要です。

心電図 / インピーダンス法による呼吸測定

心電図 (ECG) は、皮膚に取り付けられた電極を用いて、心臓の電氣的活動を測定しますが、この ECG 電極は、インピーダンス法による呼吸数の測定にも利用されます。息を吸ったり、吐いたりすると、胸部の容積が増減します。容積が増加中には胸部のインピーダンス (電気の流れにくさ) が増加し、容積の減少中にはインピーダンスが減少します。胸部に貼付された 2 つの電極から、インピーダンスの変動が測定され、その変動は、呼吸曲線としてモニターに表示され、呼吸数の測定が可能となります。ただし、体動はインピーダンスに大きな影響をあたえるため、体動がある場合には、正確な測定が困難となります。

胸郭呼吸 (圧電) センサー

この方法は、呼吸中に胸部または腹部で外部から観察できる動きおよび体積変化の検出に基づいています。例えば、ピエゾ素子等を備えた胸郭バンドを使用して、呼吸運動によって引き起こされる圧力変化を検出し、呼吸数を決定することができます。

フォトプレチスモグラフィ (PPG) センサー法

パルスオキシメータの測定に利用している信号がフォトプレチスモグラフィ (PPG) です。脈拍数と酸素飽和度 (SpO_2) を測定するための同じ PPG 信号からアルゴリズムを使用して呼吸信号を抽出します。PPG センサーには、通常 2 つの LED (1 つは赤、もう 1 つは赤外線) があり、この光は交互に組織に照射されフォトダイオードで組織に吸収されなかった光を受け取ります。赤外線の受光信号の変化は測定域の血流量の変化と見なされますが、この信号は心拍に合わせて 1 分間に 60 回程度で周期的に大きく波打っています。この波の数を数えることで脈拍数を算出しますが、この PPG 信号には、脈拍の振幅とは別の呼吸に伴う小さな周期的振幅が隠れています。

PPG 信号を周波数解析することで、呼吸による信号を抽出し、そこから呼吸数を算出する方法がフォトプレチスモグラフィセンサー法です。

参考文献

1. Schein RM, Hazday N, Pena M, Ruben BH, Sprung CL. Clinical antecedents to in-hospital cardiopulmonary arrest. *Chest*. 1990;98(6):1388-1392.
2. Lynn LA, Curry JP. Patterns of unexpected in-hospital deaths: a root cause analysis. *Patient Saf Surg*. 2011;5(1):3.
3. Franklin C, Mathew J. Developing strategies to prevent inhospital cardiac arrest: analyzing responses of physicians and nurses in the hours before the event. *Crit Care Med*. 1994;22(2):244-247.
4. Buist MD, Moore GE, Bernard SA, Waxman BP, Anderson JN, Nguyen TV. Effects of a medical emergency team on reduction of incidence of and mortality from unexpected cardiac arrests in hospital: preliminary study. *BMJ*. 2002;324(7334):387-390.
5. Bellomo R, Goldsmith D, Uchino S, et al. Prospective controlled trial of effect of medical emergency team on postoperative morbidity and mortality rates. *Crit Care Med*. 2004;32(4):916-921.
6. Goldhill DR, Worthington L, Mulcahy A, Tarling M, Sumner A. The patient-at-risk team: identifying and managing seriously ill ward patients. *Anaesthesia*. 1999;54(9):853-860.
7. DeVita MA, Braithwaite RS, Mahidhara R, et al. Use of medical emergency team responses to reduce hospital cardiopulmonary arrests. *Qual Saf Health Care*. 2004;13(4):251-254.
8. Singer M, Deutschman CS, Seymour CW, et al. The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3). *JAMA*. 2016;315(8):801-810.
9. Fine MJ, Auble TE, Yealy DM, et al. A prediction rule to identify low-risk patients with community-acquired pneumonia. *N Engl J Med*. 1997;336(4):243-250.
10. Lim WS, van der Eerden MM, Laing R, et al. Defining community acquired pneumonia severity on presentation to hospital: an international derivation and validation study. *Thorax*. 2003;58(5):377-382.
11. Roca O, Caralt B, Messika J, et al. An Index Combining Respiratory Rate and Oxygenation to Predict Outcome of Nasal High-Flow Therapy. *Am J Respir Crit Care Med*. 2019;199(11):1368-1376.
12. Lee CU, Jo YH, Lee JH, et al. The index of oxygenation to respiratory rate as a prognostic factor for mortality in Sepsis. *Am J Emerg Med*. 2021;45:426-432.
13. Vedovati MC, Barbieri G, Urbini C, et al. Clinical prediction models in hospitalized patients with COVID-19: A multicenter cohort study. *Respir Med*. 2022;202:106954.



KONICA MINOLTA

コニカミノルタ株式会社

改良のため予告なく変更することがありますのでご了承ください。

●本書の内容の一部または全部を無断で転載することは禁止されています。