

Medtronic

Professional Quest™

Vol. 70

院内急変を正しく理解するための呼吸数測定の意味



升田 好樹 先生

札幌医科大学医学部 集中治療医学

ご略歴

昭和59年 3月 札幌医科大学医学部卒業
昭和60年 4月 日鋼記念病院麻酔科
昭和60年10月 釧路市立病院麻酔科・救命救急センター
昭和62年 4月 市立函館病院麻酔科・救命救急センター
平成 1年 4月 旭川赤十字病院救命救急センター
平成 4年 2月 琉球大学医学部助手(血液生理)
平成 7年 2月 江別市立病院麻酔科
平成11年 4月 札幌医科大学救急集中治療部助手
平成16年 3月 札幌医科大学医学部 救急・集中治療医学講座 講師
平成20年 4月 札幌医科大学救急・集中治療医学講座 講師
平成24年 4月 札幌医科大学医学部 集中治療医学 講師
平成26年 2月 札幌医科大学医学部 集中治療医学 准教授
平成29年 4月 札幌医科大学医学部 集中治療医学 教授
現在に至る

資格

日本救急医学会:救急科指導医・救急科専門医
日本集中治療医学会:集中治療専門医
日本麻酔科学会:麻酔指導医・専門医
日本急性血液浄化学会:認定指導者
日本呼吸療法医学会:呼吸療法専門医
ICD(Infection Control Doctor)
米国集中治療医学会 FCCS JAPAN インストラクター

評議員・委員

日本集中治療医学会 理事、評議員、総務委員会委員長、
セミナー企画・管理委員会担当理事
日本蘇生学会 理事、評議員、蘇生医療検討委員会委員長
日本Shock学会 理事、評議員
日本急性血液浄化学会 理事、評議員
北海道呼吸管理研究会(人工呼吸セミナー) 代表世話人
北海道感染症治療セミナー 代表世話人
北海道急性血液浄化セミナー 代表世話人
NPO法人クリティカルケア北海道 理事

はじめに

近年、本邦においても院内急変患者を早期に認知し、治療介入する迅速対応システム (rapid response system: RRS) の導入が積極的に行われるようになった。RRSを起動する条件には様々なものがあげられるが、基本的には単発のバイタルサインの異常やその異常の組み合わせを医療者が認識するところから始まる。バイタルサインの中でも呼吸数は、患者の評価において重要なバイタルサインであり、RRS起動患者の院内死亡率および重篤な有害事象 (例えば心肺停止またはICU入院) と関連することが報告されている^(1,2)。さらに呼吸数は、血圧や心拍数よりも高い予後予測因子であると報告されている⁽³⁾。一方で、呼吸数の測定は、最も多く携わるであろう看護師にとって測定しづらく、最も測定されていないバイタルサインの一つとなっている。一般病棟では血圧やSpO₂がバイタルサインとして重要視されている事実があり、これは測定を機器が代替することができるため容易であることや短時間で結果が出るという看護負担が少ないためとも考えられる。看護負担が少ないから測定しやすいバイタルサインしか診ず、呼吸数の重要性を認識できていないという状況は患者にとっても非常に危険を伴う。看護師だけの問題ではなく、患者の状態について上申を受けた医師も呼吸数について逆に問いただすことがない。つまり医師も呼吸数が重要なバイタルサインであることを認識していないことにも問題がある。このようにして、いつのまにか呼吸数は記録から消えていってしまう。しかし、逆に呼吸数が機器によって簡便に測定できれば、このような現状を打ち破ることができる可能性がある。

1. 生体反応としてバイタルサインが変化する生理的な意義

生体に侵襲が加わった際には生体は元の状態に戻し、さらに次なる侵襲に備えるための生体反応が生じる。生体反応はその侵襲の程度に比例するとも言われており、侵襲の内容から生体反応を推測することが重要である。侵襲には手術や外傷、熱傷などの外的侵襲や虚血再灌流、感染症といった内的侵襲がある。これらの生体侵襲に対し、神経内分泌系の活性化や自然免疫の活性化により生体は反応する。特に知覚神経や全身に巡らされている侵害刺激受容体からの情報により交感神経の緊張やコルチゾールなどのストレスホルモンの放出が生じる。侵襲による交感神経の緊張によって神経終末から放出されるカテコールアミンにより呼吸、循環、腎などの様々な臓器に影響を与えバイタルサインの変化に繋がる。カテコールアミンの放出によりβ受容体を介した心拍数増加、α受容体を介した血管収縮作用などにより末梢冷感や皮膚の湿潤が生じ、さらに中枢に働きかけ、発熱や呼吸数増加という一連のバイタルサインの異常が生じる。侵襲初期には血圧が逆に上昇したり血圧が維持されるのはこの代償機構が発揮するためであり、血圧が低下し始めるのは非代償状態へと進展したためである。したがって、バイタルサインの異常を早期に認識し、介入することが後手に回らないようにするために重要である。

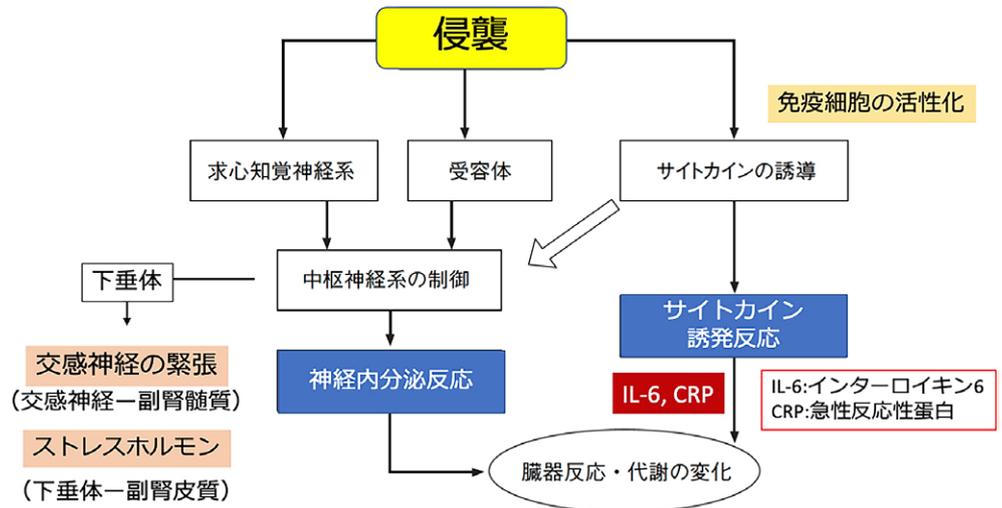


図1 侵襲に対する生体反応 (神経内分泌反応とサイトカイン誘発反応)⁽⁴⁾

2. 急変時に変化する生理的パラメーター

医療従事者は侵襲による生体反応の結果、バイタルサインが変化することを認識しなければならない。心停止といった重篤な病態への進展は突然生じることが少なく、イベントの6時間前には平均血圧が70mmHg以下、心拍数125回/分以上、呼吸数が30回/分以上、意識の変容などのバイタルサインの異常が生じると報告されている⁽⁵⁾。つまり我々医療者には6時間以上に認知するチャンスが与えられており、それを見過ごすことで重篤な病態への進展を許すことになる。

高度侵襲の代表として敗血症をとりあげ、当院ICUに緊急入室した敗血症患者88例について、後ろ向きに12時間前までさかのぼりバイタルサインの異常が出現した最も早い時間を患者カルテから抽出した⁽⁶⁾。バイタルサイン異常の定義は①呼吸数22回/分以上、②心拍数100回/分以上、③収縮期血圧100mmHg以下、④体温39.0°C以上、⑤SpO₂ 94%未満とした。

表3はイベント発生後の90日までの生存あるいは死亡症例を比較した結果を示した。唯一、呼吸数だけが90日予後で有意差がみられた。すなわち、呼吸数の異常が生じたにも関わらず介入せずに時間が経過したことが生命予後と何らかの関連があったと考えられた。呼吸数と90日予後についてROC曲線を描き、カットオフ値を算出したところ2.5時間であった(図2)。呼吸回数の実測値が25~30回/分に増加し、2~3時間以内に介入が必要であることが明らかとなった。一般病棟で感染が疑われる場合には、特に呼吸数の異常を早期に覚知し、早期に治療介入することが予後の改善に繋がる可能性が考えられた。呼吸数を確実に測定するシステムの構築や、呼吸数の異常に気付くための看護師・医師を含めた医療従事者に対する啓発や教育が今後必要であると考えられた。

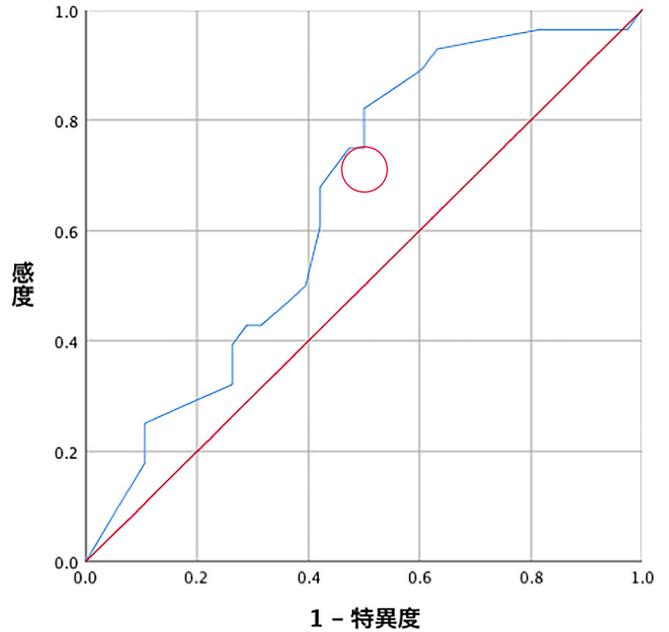


図2 90日予後と異常呼吸回数発現時間に関するROC曲線。Youden-indexによるカットオフ値(赤丸)は2.5時間。

n=88

	症例数 (n)	(%)	異常出現の時間 (minutes)	バイタルサイン異常出現時の実測値 (mean±SD)
体温	23	26.1	105.7±205.7	37.7±1.3
心拍数	64	72.7	326.9±277.6	111.6±23.3
収縮期血圧	65	73.9	356.6±289.1	99.5±30.1
SpO ₂	60	68.2	246.1±248.8	93.0±5.0
呼吸数	66	75.0	294.2±277.2	27.8±9.3

表2 ICU入室までの異常バイタルサイン出現症例の背景

表2にあるように、平均値ではあるが、4~6時間前にさまざまなバイタルサインの異常が生じていることが明らかとなった。

	生存群(n=54)	死亡群(n=34)	p値
バイタルサインの実測値			
体温	37.8±1.4	37.5±1.2	0.36
心拍数	110.8±22.6	112.9±24.8	0.53
収縮期血圧	96.8±29.6	103.6±30.9	0.39
SpO ₂	92.7±5.1	93.3±5.0	0.60
呼吸数	27.3±8.5	28.6±10.6	0.58

	生存群(n=54)	死亡群(n=34)	p値
ICU入室前のバイタルサインの異常出現時間			
体温	106.6±196.0	104.1±223.1	0.60
心拍数	306.7±273.9	359.1±284.4	0.39
収縮期血圧	362.2±287.2	347.6±296.3	0.85
SpO ₂	230.0±259.9	240.0±252.8	0.70
呼吸数	249.0±248.6	396.2±276.7	0.01

mean±SD

表3 90日死亡の有無とバイタルサインの実測値・異常出現時間の比較

3. 侵襲下での頻呼吸の定義とその意義

これまで記述してきたように急性期の呼吸回数の異常はその後の急変に繋がるリスクが高いことが多くの研究で示されている。しかし、重要なバイタルサインである心拍数、血圧、体温、呼吸数の中で最も看護記録、医師記録に記載されないバイタルサインが呼吸回数となってしまう。呼吸回数の正常値は安静時には15～20回/分であり、20回を超え22回/分以上を異常と捉えることが多い。世界的に用いられているnational early warning score (NEWS) では頻呼吸の重み付けは21～24回/分が2点で25回/分以上が3点とされている。頻呼吸の定義としての数値には若干の違いはあるものの、3秒に1回以上呼吸していることを確認するだけで異常があるかどうかわかる。ベッドサイドで頻呼吸の有無だけでも記載することが重要なポイントである。

侵襲による生体反応、特に交感神経の緊張と関連する内因性メディエーターによる呼吸中枢の刺激以外にも呼吸数が増加する機序が考えられる。

無気肺や肺炎といった肺障害に伴う、高炭酸ガス血症や低酸素血症では肺胞換気を増大させるために合目的に1回換気量や呼吸回数を増大させ対応する。低血圧や出血などによる代謝性アシドーシスが生じるような侵襲では呼吸性にアシドーシスを代償するために頻呼吸となる。このように生体に生じた種々の障害の結果、呼吸数が増加する病態へと進展することが考えられる。

呼吸回数が重要視されない背景として、一つはパルスオキシメータの普及があげられる。実際に酸素飽和度は炭酸ガス分圧を評価することはできないことは明白であるにも関わらず、看護師の40%が勘違いをし、80%以上の医師と看護師が炭酸ガス分圧を知るためには動脈血ガス分析をしなければならないと理解していないという衝撃的な報告がされている。また、SpO₂測定を妨げる要因には末梢循環不全や低体温などがあり、急変につながる全身状態の悪化時にはますます測定が不安定となり呼吸数に変わるバイタルサインとしては不適確である。

4. 呼吸数測定方法を吟味してみる

現在、医療者が患者の呼吸数を測定する方法には以下の5つがある。

1. 目視による測定

ベッドサイドで1分間測定する方法で最も信頼が高い。30秒間測定し2倍する、15秒間測定し4倍する、などの方法が用いられている。胸の上がりやわかりづらい場合には腹部の動きを確認することもあるが、気道閉塞したためシーソー呼吸で腹部の動きが顕著な場合には呼吸回数測定よりも、気道閉塞解除を優先するなど気をつけなければならない。

看護師がさまざまなバイタルサインを一度にまとめて測定、観察しなければならないことが、1分間ベッドサイドで呼吸数測定のために時間を割けない要因なのかもしれない。

2. 胸郭インピーダンス法

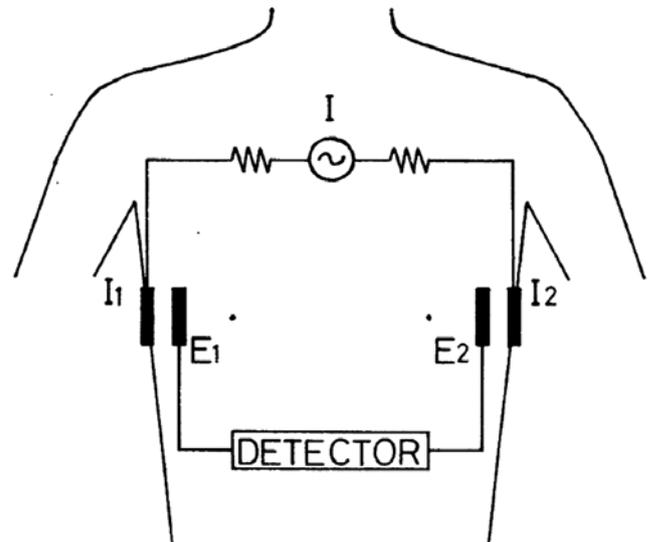
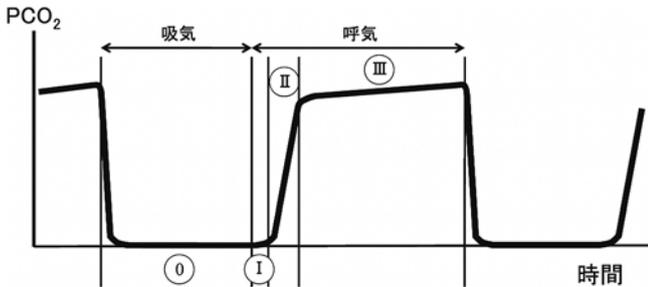


図3 心電図モニターを用いた胸郭インピーダンスによる呼吸数測定⁽⁷⁾

心電図モニターと併用する形で胸郭インピーダンスの変化で呼吸回数を測定するシステムである。心電図を貼る位置を一定で正確にしなければ、正しい呼吸回数が測定できない。一般病棟での使用では、呼吸回数を数字で出す能力には優れているが、正確性にかかる場合があり、数字をそのまま鵜呑みにしない方がよい。

3. カプノグラフィーによる終末呼気炭酸ガス濃度:EtCO₂測定
呼吸回数の測定としては目視による測定と並び最も正確である。



- 第0相 吸気相
- 第I相 呼気基線相(解剖学的死腔からの排出で炭酸ガスを含まない)
- 第II相 呼気上昇相(死腔～肺胞内の移行部からの排出)
- 第III相 呼気平坦相(プラトー:肺胞内炭酸ガスの排出)

図4 カプノグラフィーによる吸気-呼気時のEtCO₂濃度の変化⁽⁸⁾
EtCO₂測定は気管挿管時の食道挿管の確認や心停止蘇生時の循環回復の指標として用いられることもある。気管挿管されている場合には気管チューブにサンプリングや測定するデバイス装着するだけで良いが、一般病棟ではマスク内や経鼻カニューラにサンプリングポートが装着されたものを使用しなければならない。

4. 頸部音響測定

音響トランスデューサー付きのアコースティック呼吸センサーを頸部に貼付する。頸部の呼吸音を電子信号に変換し、呼吸回数を測定する。目視での呼吸回数と比べても高い精度を有するのも特徴である。全身麻酔中や鎮静下であれば頸部の違和感は少ないが、覚醒時の使用には適さない可能性がある。

5. 脈波測定

近年、パルスオキシメーターと同時に呼吸数を測定できるデバイス(Nellcor™ PM1000N/レスピラトリーセンサ)が開発された。これは、患者の脈圧などから、胸腔内圧を予測して呼吸数を算出するシステムであり、低流量系酸素療法を行っている患者において信頼性は検証されている⁽⁹⁾。
本研究では、高流量酸素療法デバイスであるHFNC装着患者における看護師の目視(以下、目視)による1分間の呼吸数とインピーダンス法ならびにPM1000Nによって測定された呼吸数の関係について検討した。

データ収集

NHFC使用中の患者20人を対象とし、呼吸数を3時、7時、11時、15時、19時、23時に患者の胸郭の動きを目視で観察するとともに、ベッドサイドモニタによる胸郭インピーダンス法とPM1000Nによる呼吸回数測定値を後ろ向きに収集した。

• PM1000Nによる呼吸数測定

PM1000Nと組み合わされて使用される粘着式のSpO₂測定用のセンサ(Nellcor レスピラトリーセンサ、写真1)を患者の指に装着した。センサの装着方法は添付文書に従い、センサケーブルが出ている側の窓が爪側の第一関節の先にくるようにし、センサケーブルが手の甲側に来るように装着された。PM1000Nによる呼吸数の測定は連続して行われた。添付文書の仕様では、呼吸数の測定精度は4~40回/minの範囲において、平均誤差±1回/min、平均二乗偏差3回/minとされている。



図5 Nellcor レスピラトリーセンサの右人差し指への装着。
SpO₂はもちろんであるが、呼吸回数を測定することが可能

分析方法

目視により測定された呼吸数を基準として、PM1000N、ベッドサイドモニタにおける相関係数を算出した。また、それぞれの測定方法によって得られた呼吸数の標準偏差を求め、Bland-Altman plotを作成した。(図6・7)

目視とPM1000Nの呼吸数測定の結果は目視とベッドサイドモニタよりも高い相関を示していたことから、PM1000NはHFNCを使用している患者でも目視と同等の呼吸数測定が可能であると言える。(図6・7)

本研究で用いたPM1000Nは、指に装着したセンサーが感受したベースラインの変動、脈波振幅の変動、呼吸性洞性不整脈の3種類の脈波の呼吸性変動を解析し、呼吸数を測定している。このうち、ベースラインの変動と脈波振幅の変動は、呼吸周期に伴う胸腔内圧の変化が与える静脈環流の変動を捉えており、呼吸性洞性不整脈は呼吸周期に伴う心拍の変化を捉えている。

HFNC使用下においてもPM1000Nは目視と同等の精度の高い呼吸数が測定できた。

PM1000Nは、センサーの装着が簡便であり、患者への負担も少ないため、従来の測定方法が抱えていた課題が解決されている。さらに、これまで不確実だった高流量系酸素デバイス使用下での信頼性も得られたことから、PM1000Nによる呼吸数測定は、患者の呼吸数のモニタリングに有用であると言える。HFNCによる胸腔内圧の変化は呼吸数測定原理への影響が少ないこと、測定不能群では不整脈が検出された割合が高かったことから、PM1000Nで呼吸数が測定できなかった要因として、不整脈との関連が示唆される。不整脈が検出されている患者や循環動態が不安定な患者には目視などの信頼性のある測定方法を併用した呼吸数のモニタリングとの併用も考慮すべきと考えられる。

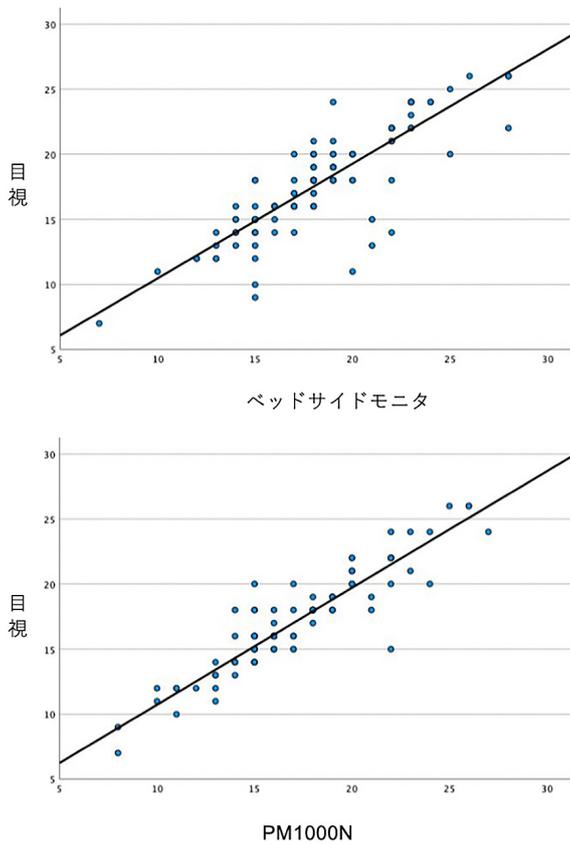


図6 各測定法で施行した呼吸数との相関

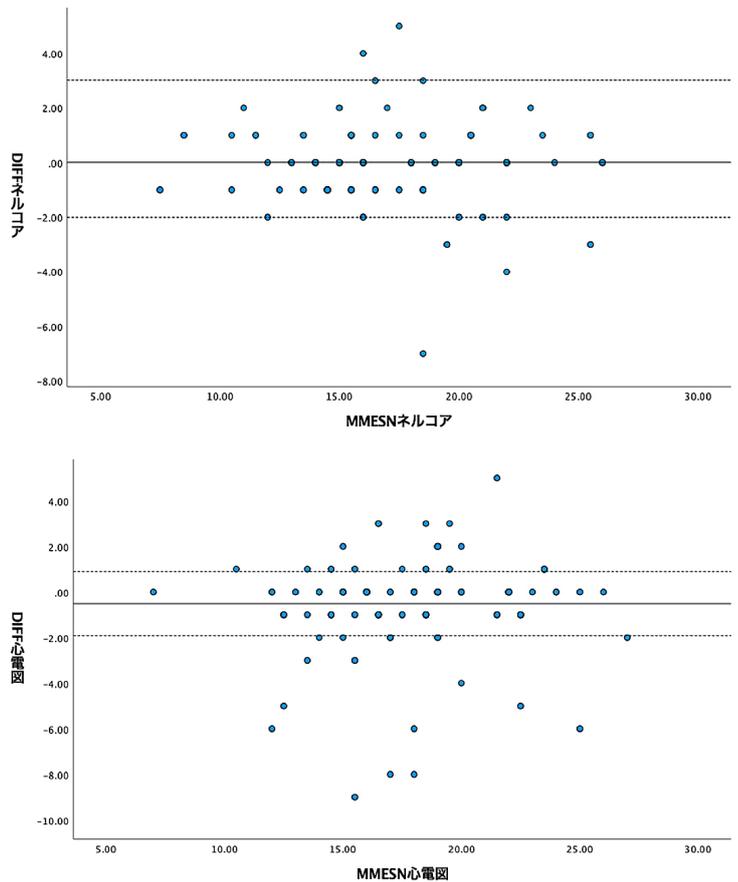


図7 PM1000、インピーダンス法と目視による呼吸回数測定に関するBland-Altman plot

おわりに

無視されるバイタルサインである“呼吸回数”。急変を早期に認知し介入するRRSが普及したからこそ、その重要性が再認識されるようになった。呼吸回数測定の意義に関し、医療従事者に対する啓発、教育は非常に重要である。一方、主なバイタルサインは医療機器の進歩により自動あるいは簡便に測定できるようになり、呼吸回数はこの自動化から取り残されアナログ的にしか測定できない最後のバイタルサインとも言える。近年、ようやくさまざまな生体情報を基に呼吸回数を推定するアルゴリズムが開発され臨床現場に応用されるようになってきた。今後はさまざまなセンサーが一つのチップに載るようなwearableな機器の開発が進み、呼吸回数が簡便かつ誰でも測定できる日が到来するのもそう遠くないのではないだろうか。教育と機器の進歩が急変患者の予後改善に繋がることを切に願う。

文献

1. Cretikos MA, Bellomo R, Hillman K, Chen J, Finfer S, Flabouris A. Respiratory rate: the neglected vital sign. *Med J Aust.* 2008 Jun 2;188(11):657-9.
2. Goldhill DR, McNarry AF, Mandersloot G, McGinley A. A physiologically-based early warning score for ward patients: the association between score and outcome. *Anaesthesia.* 2005 Jun;60(6):547-53.
3. Fieselmann JF, Hendryx MS, Helms CM, Wakefield DS. Respiratory rate predicts cardiopulmonary arrest for internal medicine inpatients. *J Gen Intern Med.* 1993 Jul;8(7):354-60
4. 樽井ら, 外科 2007; 69: 752-756
5. 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 Feb;22(2):244-7
6. 春名純平, 犬童隆太, 西裕子, 巽博臣, 数馬聡, 升田好樹. 敗血症のICU入室前の呼吸数異常持続時間と生命予後は関連する. *日本救命医療学会雑誌* 2021;35:1-6
7. 鈴木ら, 体外循環技術 1977; 2: 36-38
8. 坂口嘉郎, 日臨麻会誌. 2015;35:130-137
9. Kitsiripant C, Fukada T, Iwakiri H, Tsuchiya Y, Ozaki M, Nomura M. Comparison of Nellcor™ PM1000N and Masimo Radical-7® for detecting apnea in volunteers. *J Anesth.* 2017 Oct;31(5):709-13

販売名 ネルコアレスピラトリーモニターPM1000N
医療機器承認番号 22700BZX00045000
販売名 Nellcor レスピラトリーセンサ
医療機器届出番号 13B1X00069BL007A

使用目的又は効果、警告・禁忌を含む使用上の注意点等の情報につきましては製品の電子添文をご参照ください。

© 2023 Medtronic. Medtronic及びMedtronicロゴマークは、Medtronicの商標です。
TMを付記した商標は、Medtronic companyの商標です。

Medtronic

お問い合わせ先
コヴィディエンジャパン株式会社

Tel: 0120-998-971
medtronic.co.jp