

29 “体動に強い” パルスオキシメトリー: 新モデルと従来モデルの比較

“Motion-Resistant” Pulse Oximetry: A Comparison of New and Old Models

Barker S.J. *Anesthesia and Analgesia* 2002;95:967-72

緒言

先の研究で、私は機械的に制御した持続的な動き、低灌流ならびに低酸素血症での数種のパルスオキシメーターの性能を比較した^{1,2}。今回の研究では、空気および低酸素混合ガスを呼吸している被験者の末梢循環を低灌流状態とし、体動を機械的に制御している状態(周期運動、ランダム運動)で、市販の体動に強いとされるパルスオキシメーター全てと、多数の従来型のパルスオキシメーターとを比較した。

方法

健常被験者70名が参加した。被験者それぞれを6種類のオキシメーターセンサーでモニターした: 3機種を、動きのある“試験”側の手の第2、3、4指に装着し、同じメーカーの同じモデルのセンサーを、動きのない“対照”側の手の指に装着した。指へのセンサーの割り付けは、それぞれの被験者で順次入れ替えながら行い、接着剤を用いて体動中のセンサーのずれを最小限にとどめた。

室温を16° - 18° Cに下げて末梢灌流(<0.8%) PIを低下させた。試験側の手の運動を、コンピュータ制御のモーションテーブルを用いて標準化し、再現性のある方法で行った。一定頻度およびランダムに変動する頻度でのタッピングと摩擦運動について調べた。動きのある手からのSpO₂値ならびに脈拍数を、動きのない側の手で同時に記録した値と比較した。被験者が空気呼吸している状態、SpO₂が約75%まで急速に低下した状態、ならびに空気呼吸で再び酸素飽和が回復した状態での、様々な動きの間にデータを記録した。低酸素血症状態は、FiO₂を9%まで下げられるよう改造した麻酔器を用いて実現した。

空気呼吸の状態では、2つの動きに対して2分間データを記録した: 1) 3 Hzで一定頻度、もしくは1 Hzから3 Hzにランダムに頻度を変化させて指をタッピングしている状態、ならびに、2) 3 Hzで一定、もしくは1 Hzから3 Hzにランダムに頻度を変化させて指を摩擦している状態。タッピング運動と摩擦運動の頻度をそれぞれの被験者で変化させた。2つの運動が終了すると、全てのSpO₂値ベースラインに戻り、センサーを装着する指を入れ替えて、同じ検査を2回繰り返す、ひとつのパルスオキシメーターそれぞれについて3本の指全てでモニターを行い、測定した指によるバイアスをなくした。

低酸素血症状態では、運動が始まった後に全てのセンサーを脱着ならびに再装着(D/R)することをプロトコルに含めた。これは、1)動きと低灌流状態で、センサーを装着するという最も困難な状態でパルスオキシメーターが機能できるか調べること、および2)偽のアラームを出さないよう、メーターをフリーズさせたり、非常に長い平均時間をとったりして対策しているモニターと、体動中に測定できる真の意味での体動の影響を受けない測定技術を比較するために行ったものである。低酸素血症状態での検査の内容は以下の通り: 1)体動の伴わない低酸素血症状態、装置、肢および指の応答時間の違いを調べるもの; 2)低酸素血症状態の開始時点でD/Rを行いランダムなタッピング運動を行うもの; 3) 低酸素血症状態の開始時点でD/Rを行い3 Hzでタッピングを行うもの; 4) 低酸素血症状態、3 Hzでのタッピングを行うもの; 5) 低酸素血症状態、ランダムな摩擦を行う者。このシリーズは、それぞれの被験者で1度実施した。

試験SpO₂値と対照SpO₂値を、感度と特異度の点で比較した。感度では、真の飽和度低下と飽和度回復をパルスオキシメーターが検出できる能力について調べ、特異度では、体動中に偽のアラームを発生しない能力について調べた。SpO₂値90%をアラームの警報閾値として選んだ。それぞれのパルスオキシメーターについて、SpO₂値の測定成績および心拍数の測定成績、ならびにドロップアウト率を計算した。SpO₂値の測定成績では表示されたSpO₂値が対照値の7%未満であった時間の全体に対する割合を測定し、PRの測定成績は、心拍数が対照値の10%未満であった時間の全体に対する割合と等しいも

のであった。ドロップアウト率では、SpO₂値がゼロもしくは-（測定不能）を示した時間の全体に対する割合を測定した。

結果

パルスオキシメータ	心拍数 成績指標	SpO ₂ 成績指標	SpO ₂ 測定感度	SpO ₂ 特異度	ドロップアウト率(%)	バイアス(%)	確度(%)
MasimoSET(v2) *	94	85	98	93	.2	-0.41	2.98
Pilips Viridia 24 C(Rev B) *	84	75	78	90	1.6	-1.52	4.51
Philips CMS(Rev B) *	80	73	70	83	3.7	-1.87	5.96
Datex-Ohmeda 3740	80	11	68	80	0.0	-2.33	4.20
Datex-Ohmeda 3800	79	12	63	77	0.7	-2.24	4.17
Datex-Ohmeda AS/3	77	67	90	45	0.2	-3.73	5.30
Nellcor N-395(v1620) *	71	47	66	78	4.1	-3.17	5.44
Datex-Ohmeda 3900	68	12	60	52	1.0	-3.20	4.22
Novamatrix MARS(2000-10) *	58	27	40	42	2.4	-4.42	5.39
Hewlett-Packard CMS	57	20	63	30	0.5	-8.52	7.11
Nellcor N-180	57	15	35	43	3.1	-5.90	5.95
Marquette 8000	55	27	40	45	0.2	-6.22	6.68
Nellcor NPB-295	55	16	39	53	8.0	-5.79	6.21
Novamatrix 520A	54	11	35	30	0.7	-5.03	5.07
Nellcor N-200	53	19	53	43	0.8	-7.18	5.97
BCI 3304	53	10	28	25	1.2	-7.38	5.74
Nonin 8600	48	13	45	18	1.4	-6.19	5.67
SpaceLabs 90308	46	40	40	23	0.8	-9.50	6.89
Nellcor NPB-190	43	16	48	33	11.1	-9.41	6.07
Criticare 5040	27	5	30	15	5.4	-12.64	6.44

* は、“体動に強い”と称しているパルスオキシメータを示す。

表1. SpO₂性能指標が高い順にパルスオキシメータを示している。SpO₂性能指標とは表示されたSpO₂値が対照値の7%未満内であった時間の全体に対する割合のことである。

著者の意見と結論

“結論として、我々が被験者で行ったデータは、新世代のパルスオキシメータの、被験者が体動中の性能が向上していることの強力な証左である。特に、マシモSETが患者の体動中に優れた性能を示し、性能指標、感度、特異度に関して、相当に高い値を示した。”

“このように性能が向上したことの臨床における意義は大きい。(覚醒している低酸素状態の患者は興奮し、動きが激しい傾向にあり、また患者が窮迫状態では、パルスオキシメータは体動のアーチファクトの影響をより多く受けやすいから)。体動に強いオキシメータあるいは体動中でも読み取れるオキシメータ、とりわけマシモの製品は、このような状況で正確なSpO₂値を表示できる能力が高く、このため、生命に危険を及ぼすような低酸素血症状態を発見しやすくなるものと考えられる。”

図 1. 20 機種のパルスオキシメータの結果から計算した Receiver operating characteristic (ROC)。最良の性能を示した ROC

曲線は、左上隅にあるものである。コイントスで低酸素血状態を診断すると、 $x=y$ の直線に沿った ROC 曲線が得られる。

