

●原 著

高気圧酸素治療で用いる呼吸器の性能について

芝山正治* 水野哲也* 高橋茂樹*
土井庸正* 秋場 仁* 柏倉章男*
眞野喜洋*

Research on the efficiency of different breathing masks used during hyperbaric oxygen therapy

Hyperbaric oxygen therapy(HBO) at our university has been carried on since 1966, especially decompression sickness is one of the most positively treated diseases and the number of the cases has been summed up to 223 for these 18 years.

Demand type mask had been used as an oxygen breathing apparatus (unit) for the patients of decompression sickness but it was too difficult for aged or female patients to use it under hyperbaric pressure. Because mechanical pressure resistance of the breathing unit is so large that those patients might feel difficulty both to inspire and especially to expire the high density of oxygen.

So, a newly improved breathing mask unit was manufactured and has been used at our university since 1979.

Three different types of breathing masks have been used under hyperbaric pressure in actuality, however each efficiency has not been evaluated in detail. Therefore it was difficult to know even the oxygen percentage of inspiratory gas, the pressure resistance or the functional dead space of the units. These mechanical characteristic is far different in each unit, so these three types of breathing units were tested and eventually the results were introduced mentioned below.

- 1) The mechanical dead space was largest in demand type mask and it was over three times more than Laerdal opened mask (a newly improved breathing mask).
- 2) Both of expiratory and inspiratory mechanical pressure resistances were about two times more in demand type mask than others.

- 3) Oxygen percentage of expiratory gas was 68% in Puritan-Bennett opened mask (commonly used mask), 80% in Laerdal opened mask and 86% in Demand type mask.

Even though we used pure oxygen under hyperbaric pressure, inspiratory oxygen percentage is usually less than 90% and it is due to the mechanical characteristics of breathing mask unit like as the peculiar dead space, fitting and leaking in through the mask and so forth. These characteristics are very important for HBO and we should be careful to choose the breathing mask from the view of these points especially under hyperbaric pressure.

緒 言

本学の高気圧酸素治療は、減圧症治療を目的として、1966年より行われており、1984年までの18年間に減圧症治療患者数223名を数えている¹⁾。また、1979年よりそれまで14年間使われていた高圧室から新規に第II号機を設置した機会に再圧治療表を再検討し、本学独自の治療手順を決め減圧症治療を行うようになった²⁾。また、減圧症治療だけでなくガス中毒や末梢循環不全に対する高気圧酸素治療(HBO)件数の増加に伴って、今まで呼吸器を装着したことの無い者や高齢婦女子に対しても酸素マスクを使うようになった。しかし、デマンドタイプマスクを用いた場合は、機械的な呼吸抵抗が大きいため酸素吸入中に呼吸に伴う苦痛を訴える者が多く、また、我々が呼吸しても抵抗が大きく感じられ、長時間にわたるこの器種のマスク使用は呼吸器を装着したことの無い者や高齢婦女子に対して苦痛が強すぎると思われた。そこで、マスクの抵抗をデマンドタイプ方式のものよりも

*東京医科歯科大学公衆衛生学教室

小さく、かつ、吸入酸素濃度を変えることのない呼吸器を試作し治療に用いる検討が行われた。また、1979年以前にも認められたが、HBO中に発生した急性酸素中毒の症状は、1979年より1984年までにHBOを行った115例中、5例(4.35%)に認められ、その中毒発生時の圧力は3名が2.8ATAで、2名が3.0ATAであった³⁾。一方、八木らは、181回のHBOで1例の酸素中毒もみなかったとのことである⁴⁾。この酸素中毒発生は吸入時の圧力と使用呼吸器の性能の違いにより吸入酸素濃度が異なる結果ではないかと思われる。

そこで本研究は、HBOで用いられている酸素マスクの性能について調べることを目的として、3種類の酸素呼吸器の吸気および呼気抵抗と吸入酸素濃度などについて調べHBO中のマスクの性能を検討したので報告する。

方 法

被検者は表1に示す通りである。平均年齢31.4歳であり、19~48歳までの男子7名、女子5名である。被検者12名中10名は、Scuba Divingの経験を有しているもので呼吸器を用いての呼吸は一般の者よりも慣れているといえる。

実験時の姿勢は、安静椅子座にて行い、安静状態を心拍数で確認した⁵⁾⁶⁾。

実験に用いられたHBOマスクは、3種類であり、次の特長を有している。

(1) Laerdal mask

ノルウェー・レールダル社製のレールダル人工蘇生器に用いられている成人用マスク

(2) Puritan-Bennett mask

一般的に病院で用いられている米国ピューリタン・ベネット社製のエアロゾールマスク

(3) Demand Type mask

国産のデマンドタイプ方式のもので、我々が1966年より減圧症治療を目的に行った時に用いていたマスク：システムは、吸気圧力によって薄いゴム板であるダイヤフラムを引くことにより、約6kg/cm²Gまで減圧されている酸素ガスの弁が開き酸素ガスが吸入される。呼気ガスは、室内酸素濃度を上昇させないように室外に排出する仕組みになっている。

我々が試作したシステムは、(1)であり、呼吸中のマスク内呼気抵抗および吸気抵抗を可能な限り

表1 被検者の身体的特徴

Subject	Age, Height (yr.) (cm)	Weight (kg)	FEV (ml)	%FEV (%)
1 f	19 154	47	2650	87
2 m	36 165	68	4260	108
3 f	29 160	48	3700	123
4 m	41 171	76	3810	97
5 m	28 173	63	5010	119
6 f	32 162	58	3050	102
7 f	31 160	54	3200	109
8 m	37 159	63	3490	95
9 m	29 168	62	4360	106
10 m	48 172	62	4910	126
11 m	21 179	78	5810	128
12 f	26 165	49	4220	134
means	31.4 165.7	60.7	4039.2	111.2

小さくすると同時に、顔面に装着した時の顔へのフィット性を考慮し、ノルウェー・レールダル社製のレールダル人工蘇生器に用いられている成人用マスク(エア入りクッション付570400)をマスクとして選定し、マスクと一語にセットされている非再呼吸バルブに軽量の蛇管(2m)をつなぎ、試作したY字管より、蛇管と吸気用バック(2.6ℓ)を取り付けた。吸気用バックは、ポンペから送られて来たO₂ガスを一度貯留させておくところであるが、麻酔用バックのようなゴム質だと重くバックが自然に膨脹せず送られて来たO₂ガスがストレートにマスクに流れてしまうことから、軽量なバックとして2.6ℓのバックを用いて行つた。また、ポンペから送られて来るO₂ガスは乾燥ガスであるため流量計と同時に使えるセントラルユニ社製の湿潤器を付帯したシステムを試作した(写真1, 図1)。

各呼吸器のシステムを図1に示す。酸素は、7,000ℓの酸素ポンペより送気される。レールダルおよびベネットマスクを用いる場合は、図1の上段のシステムを用いて行い、デマンドタイプマスクを用いる場合は下段のシステムで行い、いずれも、高圧室内で酸素呼吸器を使う方法に近いシステムにて研究室で行った。

ガス測定は、測定上吸気ガスの測定が不可能な

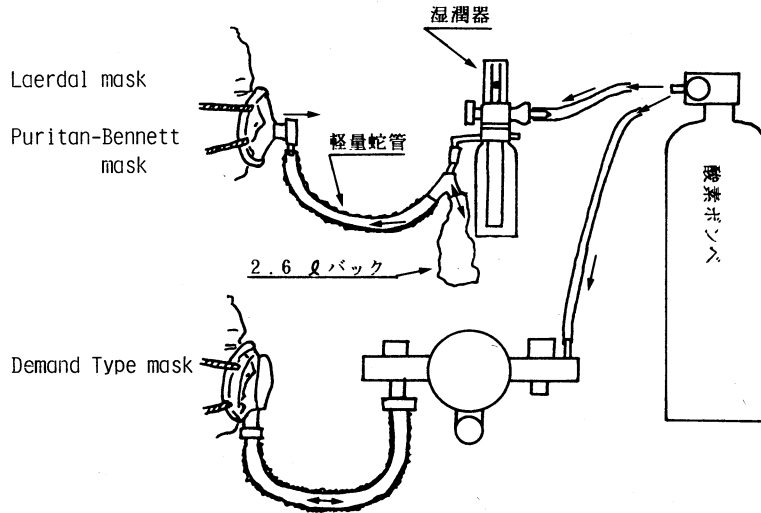


図1 酸素マスクを用いた呼吸器のシステム

上段：レールダルマスクおよびベネットマスクの系統システム

下段：デマンドタイプマスクの系統システム、吸呼気の蛇管は二重管となっている

ため、3種類共呼気ガスを採気し、実験開始15分後から20分後までの5分間を採ガス測定とした。集められたガスは、ガスクロマトグラフにて O_2 および CO_2 の分析を行った。また、マスク内抵抗は、日本光電社製の血圧トランスデューサを用いてマスク内の呼吸に伴う抵抗を測定した。換気量の測定については、日本光電社製の呼吸用アンブ（AR-600G）および換気量ユニット（AQ-600G）とダグラスバック法を用いて、 \dot{V}_E および V_T を測定したが⁷⁾⁸⁾、実験中、可能な限り安静にしたため、マスク周囲からの空気の流入が考えられたので、換気量の測定を行った実験開始後20～25分の5分間だけマスクを手で持ち顔にフィットするようにとめた。

結 果

圧力上昇と共にガス密度が増加することにより呼吸に伴う抵抗値が上昇する^{9)~13)}。今回の我々の実験は常圧下で行ったが、これは、デマンドタイプマスクについて、高圧室に取り付けられない理由による。

顔面にマスクを装着した状態でのマスクが持つ死腔は表2の結果のごとく測定された。

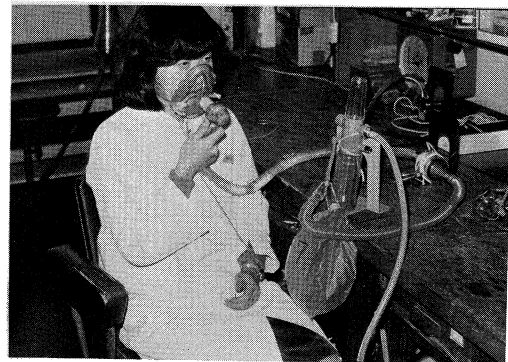


写真 レールダル社製マスクを用いての実験中の被検者

マスク内の呼吸抵抗を経時的な変化としてみたものを図2に3種類の呼気時（上段）および吸気時（下段）の抵抗値として示し、5～20分の12名の平均値は表3に示す。マスク内の呼吸抵抗は、ベネットマスク、レールダルマスク、デマンドマスクの順に吸呼気共高く、呼気時の抵抗よりも吸気時の抵抗の方が高い結果であった。それらの吸気抵抗値は、ベネットで 8.8mmHg_2O であり、レールダルで 16.3mmHg_2O であり、デマンドタイプで

34.5mmH₂Oであった。

吸気ガスとして用いた99.99%表示の酸素ポンペを蛇管の出口で測定したところ、ガス濃度は、ガスクロマトグラフによる分析で99.8%のO₂となり、残りはN₂ガスであった。呼気ガスはバックに一度留めてからガスクロマトグラフで分析した結果である(表4)。呼気ガス濃度は、ベネット、ルールダル、デマンドの順にO₂濃度が高く、それぞれの平均が68%、80%、86%であった。

fは、12~15回であり、 \dot{V}_E (呼気または吸気量)は、6.9~8.9ℓとデマンドタイプマスクが高い値を示し、V_Tも、566~750mℓとやはりデマンドタイプマスクが高い値を示していた(表5)。

考 察

減圧症治療を目的として治療中に酸素を吸入する場合、古くからデマンドタイプ方式の呼吸器が使われてきた。このデマンドタイプ方式のマスクは、吸気酸素濃度を高めるとともに室内に高いレベルの酸素を排出させないようにする目的があり、室内酸素濃度の上昇は火災の危険性のあること、また、酸素中毒¹⁴⁾発生時の対応を適切に行えるためにも室外に高濃度酸素を排出させる必要性から考案された。しかし、日本高気圧環境医学会の高気圧酸素治療の安全基準によりCO₂を0.01kg/cm²以下に保つ換気量¹⁵⁾および労働安全衛生法により酸素吸入する場合、高圧室の換気量を1名当り120ℓ/minの空気を送るように規制された¹⁶⁾ことにより、120ℓ/minの換気量が確保できれば、室内CO₂分圧は0.01kg/cm²および酸素濃度は25%を超えることがなくなった。したがって、HBOで用いる酸素呼吸器は、デマンドタイプ方式にこだわる必要はなくなり、数多くの病院では、酸素呼吸器としてオープンタイプ(呼気ガスを室内に排出させるシステム)のマスクが使われるようになった。しかし、これらの酸素呼吸器の性能についての報告はあまり見受けられない¹⁷⁾。そこで本研究は、酸素マスクを用いたマスクの性能について検討を行った。

3種類のマスクの持つ死腔について、ルールダル社製のマスクが73mℓであり、ベネット社製のマスクが97mℓであるのに対して、デマンドタイプマスクは、249mℓと他の2種類のマスクと比較して約3倍量の死腔を有している(表2)。これは、

表2 マスクを顔に装着した状態のマスクが持つ死腔(単位mℓ)

	Laerdal mask	Puritan-Bennett mask	Demand Type mask
means	73.0	96.6	249.1
S.D.	2.2	2.2	18.5
max.	76	100	270
min.	70	94	224

表3 マスク内の呼吸における抵抗12名の平均値と偏差(単位:mmH₂O)

		Laerdal mask	Puritan-Bennett mask	Demand Type mask
Expleatory	means	11.22	6.70	22.00
	S.D.	4.54	5.30	6.12
Pressuer	max.	24.1	26.3	54.0
	min.	2.1	0.5	13.0
Inspiratory	means	16.25	8.79	34.52
	S.D.	5.90	5.93	6.16
pressure	max.	34.7	26.3	48.7
	min	3.7	0.5	12.5

表4 マスクからの呼気ガス濃度(単位:%)

	Laerdal mask		Puritan-Bennett mask		Demand Type mask	
	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂
means	79.7	2.84	67.8	2.68	86.0	2.53
S.D.	12.5	0.56	17.1	0.53	8.4	0.52
max.	94.1	3.65	84.5	3.61	94.6	3.60
min.	53.9	2.11	34.5	1.88	62.6	1.93

本研究で調べた表5に示されるようにデマンドタイプマスクによるV_Tは平均750mℓであったことから考えて、解剖学的死腔量(150mℓ)を含めると33%の死腔を持っていることになり望ましいものとは思われない。

しかし、呼気ガス中の酸素濃度は、デマンドタイプマスクが最も高く86%に達した。このことは、デマンドタイプマスクの場合、強制呼吸を行わな

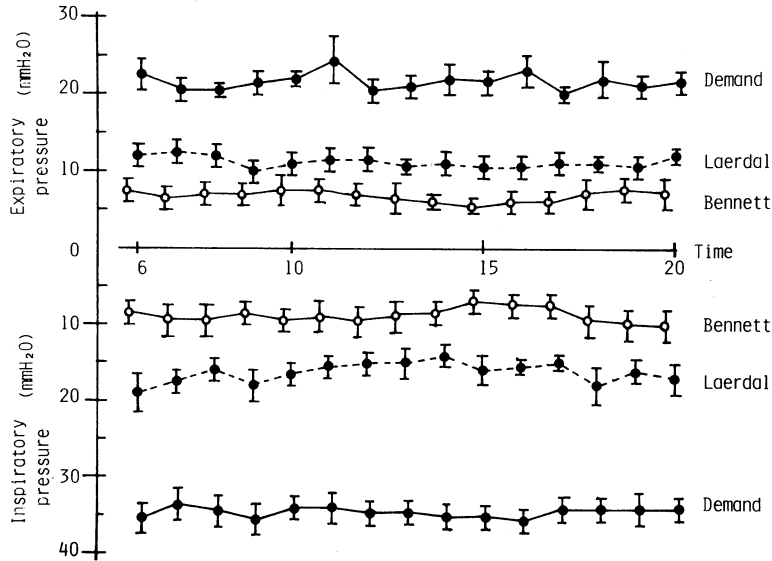


図2 実験開始後の5~20分に測定した経時的マスク内呼吸抵抗の変化

いと吸呼吸ができないことから、マスクを顔面にフィットして呼吸するためマスク周囲からの空気の流入が他2種類のマスクと比較して少ない結果、最も高いレベルになったと思われる。しかし、安静坐位の状態では呼吸をし、マスクストッパー(マスクを固定するベルト)を付けているだけであることから、多少の空気流入があり86%のレベルになってしまったものといえる。ベネット社製マスクは、呼吸抵抗が一番低く、高齢者および小児まであらゆる年齢層が呼吸しやすいマスクであると思われるが、顔面に対してのマスクのフィット性が悪く、3種類中最も酸素濃度が低い68%のレベルとなっていた。また、吸入酸素濃度の違いにより、心拍数の減少があるといわれているが、本研究の姿勢が安静状態であったため、心拍数の減少はいずれも認められなかった^{8)16)~18)}。

我々の試作したノルウェー・レールダル社製マスクによるシステムは、デマンドタイプマスクの酸素濃度までは得られなかったが、80%の酸素濃度を確保でき、呼吸によるマスク内抵抗もベネット社製のマスクの2倍の抵抗値を吸呼吸共認めたが、デマンドタイプマスクの1/2に減ずることができた。これにより、あらゆる年齢層の人にとって酸素を吸入することが容易となり、呼吸を苦痛と

感じるような抵抗レベルではなく、実用的に十分耐えうるものであることが知れた。

また、本学で115例中に5例の酸素中毒発症をみた。しかし、八木ら⁹⁾は181例に対し1例もその発症をみなかったと報告している。この相違は呼吸時の酸素濃度の差によるものではないかと示唆されたが、急性酸素中毒の発症については今後とも慎重に検討されなければならず、結論を得るためにはなお十分な今後の観察を要すものと考えられた。

結 論

HBOで用いられている酸素マスクの性能テストを行い検討した結果、以下のことが知れた。

- (1) 酸素マスクそのものの持つ死腔は、レールダル、ベネット、デマンドの順に大きく、最も死腔が少ないレールダルのマスクでは73mlであり、デマンドタイプのマスクにおいては、最も大きく249mlであった。
- (2) マスクの持つ呼吸抵抗は、ベネット、ノルウェー、デマンドの順に高く、レールダルのマスクが呼気時で11mmH₂O、吸気時で16mmH₂Oであったのに対し、デマンドタイプマスクは、呼気時で22mmH₂O、吸気時で35mmH₂Oのレールダル

表5 f, \dot{V}_E および V_T の変化

	Laerdal mask			Puritan-Bennett mask			Demand Type mask		
	f breaths / min	\dot{V}_E ml/min BTPS	V_T ml	f breaths / min	\dot{V}_E ml/min BTPS	V_T ml	f breaths / min	\dot{V}_E ml/min BTPS	V_T ml
means	12.8	7620	646	15.1	6875	566	13.3	8903	750
S.D.	5.2	2173	234	5.4	4491	634	4.8	2451	355
max.	25.0	12405	1288	26.3	19104	2491	25.3	14493	1672
min.	6.7	5128	384	7.7	2477	164	8.3	5825	366

換気量測定の間所は、レールダルおよびベネットが吸気側であり、デマンドは呼気側で測定した。

のマスクと比較しても2倍の呼吸による抵抗値を示した。

(3) 呼気ガス濃度は、ベネットが最も低く68%であり、つづいて、レールダルの80%であり、最も高かったのがデマンドの86%であった。

以上のことから、試作されたノルウェー・レールダル社製マスクを用いたシステムは、デマンドタイプマスクよりも機械的な呼吸抵抗を低くすることができ、また、酸素濃度も80%までのレベルに持っていったことは、HBOに十分使用できる実用的なものであると思われる。

これらのことから、HBOの本来の目的からみた場合、吸気酸素濃度の立場からは、従来から用いられているデマンドタイプが優れているといえるが、機械的死腔が大である上に吸気呼気時における抵抗が高く、一般向けとはいえない。また、ベネット社製のマスクは抵抗は少なく使用しやすいが、吸気酸素濃度はあまり高くない。この両者の中間的な結果を得ることができたレールダル社製マスクを用いたシステムは、吸気酸素の点と、呼吸時の機械的な抵抗の問題の総合評価の結果、3種類の呼吸器の中では、最も理想に近いことが知れた。

HBOは、高気圧下で使用されるマスクの性能でその治療効果の良否が決まるほど、呼吸用のマスクは重要になってくることから、ベネット型のような低い抵抗値で呼吸しやすく、かつ、デマンド型のような高い酸素濃度を得られる呼吸用マスクの開発は必要不可欠であり、マスクの評価はこ

の両面から検討を加えるべきであるといえる。

〔参考文献〕

- 1) 真野喜洋, 芝山正治: 気泡計測法に基づく圧気作業の減圧管理と減圧症予防対策. 日災医誌, 33(11): 29-33, 1985.
- 2) 真野喜洋: 再圧治療表からみた再圧治療の問題点. 日高圧医誌, 17(2): 35-38, 1982.
- 3) 芝山正治, 真野喜洋, 高橋茂樹, 土井庸正, 柏倉章男, 高野尚志, 秋場仁, 前田博: 高気圧酸素治療で用いる呼吸器の試作と酸素中毒. 第19回日本高気圧環境医学会総会, 19(2): 1984.
- 4) 八木博司, 隅田幸男: 酸素中毒. 呼と循, 26(5): 447-452, 192, 1978.
- 5) 湯浅景元, 福永哲夫, 角田直也, 朝比奈一男, 藤松博, 平田敏彦: 作業姿勢が最大下と最大作業中の酸素摂取と心拍数に及ぼす効果. 体育学研究, 25(1): 31-38, 1980.
- 6) 猪飼道夫, 山地哲司: 心拍数からみた運動強度. 体育の科学, 21(9): 589-593, 1971.
- 7) 塚越克己, 加賀谷淵彦, 雨宮輝也, 黒田善雄: 呼気ガス採集法の検討. 体力科学, 17: 14-27, 1968.
- 8) Forster, H.V., L.G. Pan, G.E. Bisgard, R.P. Kaminski, S.M. Dorsey, and M.A. Busch: Hyperpnea of exercise at various P_iO_2 in normal and carotid body-denervated ponies. J. Appl. Physiol. 54(5): 1387-1393, 1983.
- 9) 梨本一郎, 小林浩, 野寺誠, 佐藤賢俊, 河野道茂, 平野昭夫: 高気圧用 dump 式酸素呼吸器の換気学的検討. 日高圧医誌, 17(1): 25-27, 1982.
- 10) 真野喜洋, 芝山正治, 石山明, 高橋茂樹, 前田博: 高圧下救護用呼吸保護具の検討. 日災医誌, 31(11): 713-723, 1983.
- 11) Taunton, J.E., E.W. Banister, T.R. Patrick, P.

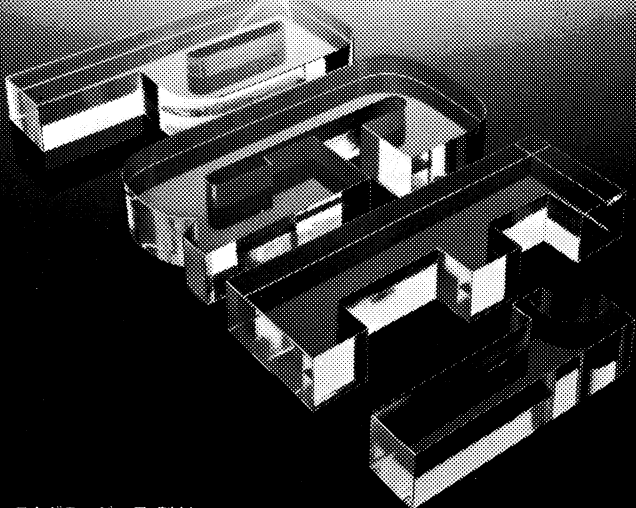
- Oforsagd, and W.R. Duncan: Physical work capacity in hyperbaric environments and conditions of hyperoxia. J. Appl. Physiol. 28(4): 421-427, 1970.
- 12) Dwyer, J.,: Estimation of oxygen uptake from heart rate response to undersea work. Undersea Biomed. Res. 10(2): 77-87, 1983.
- 13) 大岩弘典: 高圧環境下の換気動態に関する研究. 産業医学, 11(9): 3-10, 1969.
- 14) U.S. Navy, : U.S. Navy, Diving manual. 3•20 -3•21, Department of the Navy., Washington, D.C., 1975.
- 15) 日本高気圧環境医学会: 高気圧酸素治療の安全基準, 3.名古屋, 1980.
- 16) 労働省安全衛生部労働衛生課: 潜水士テキスト, 中央労働災害防止協会, 209-210, 1984.
- 17) Davies, C.T.M. and A.J. Sargeant: Physiological responses to one-and two-leg exercisil breathing air and 45% oxygen. J. Appl. Physiol, 36(2): 142-148, 1974.
- 18) Aizad, T., J. Bodani, D. Cates, L. Horvath, and H. Rigatto: Effect of a single breath of 100% oxygen on respiration in neonates during sleep. J. Appl. Physiol. 57(5): 1531-1535, 1984.

循環器系のプロスタグランジン

難病に曙光!!

パージャー病、閉塞性動脈硬化症の新しい治療薬

(厚生省指定疾患)



プロスタグランジンE₁製剤

注射用 **プロスタンディン**
PROSTANDIN for Inj.

薬価基準
緊急収載

組成 1管中、アルプロスタジル20 μ gを含有。

作用 1.末梢血管拡張作用 2.血小板凝集抑制作用 3.潰瘍形成阻止作用 4.抗ショック作用 5.脳血管攣縮抑制作用 6.脂肪異化抑制作用

適応症 下記疾患における四肢潰瘍・壊死ならびに安静時疼痛の改善。慢性動脈閉塞症(パージャー病、閉塞性動脈硬化症)

用法・用量 1. 通常成人1日量アルプロスタジルとして10 μ g~15 μ g(およそ0.1ng~0.15ng/kg/分)を生理食塩液5mlに溶かし、インフュージョンポンプを用い持続的に動脈内へ注射投与する。2. 症状により0.05ng~0.2ng/kg/分の間で適宜増減する。

使用上の注意

1. 次の患者には慎重に投与すること。1) 心不全の患者(心筋収縮力の低下を起すことがある)。2) 緑内障、眼圧亢進のある患者(眼圧を亢進させる作用がある)。2. 副作用 1) 注入肢 鈍痛 疼痛、腫脹、発熱、ときに発赤、脱力感、痒痒があらわれることがある。2) その他 ときに頭痛があらわれることがある。また血漿蛋白分画の変動などの臨床検査成績に異常がみられることがある。3. 適用上の注意 1) 本剤投与により、注入肢に鈍痛・疼痛、腫脹、発熱、発赤等の症状があらわれることがあるので、このような症状があらわれた場合には、すみやかに投与速度を遅くすること。2) インフュージョンポンプ使用に際しては、バググあるいはシリンジ内に気泡が混入しないように注意すること。3) アンブルカット時にガラス微小片の混入を避けるため、カットする前にエタノール綿等で清拭すること。 保険薬価 1管(20 μ g) 3,611.00(54.9.27収載)



小野薬品工業株式会社
大阪市東区道修町2丁目14