

〔原 著〕

オキシグラフ的皮内酸素濃度測定による 小児心肺機能の研究 (第2報)

予 備 実 験 (2)

酸素吸入時における正常成人皮内酸素濃度変動について

東京女子医科大学小児科学教室 (主任 磯田仙三郎教授)

東京女子医科大学第1生理学教室 (主任 箕島 高教授)

大学院学生 小 泉 と し
コ イズミ

(受付 昭和36年12月8日)

I. はしがき

100%の O₂ 吸入を行なった場合に見られる皮内酸素濃度の上昇率は動脈血飽和度と循環機能と大きな関係があり、正常の空気呼吸時においては体組織は各動脈血 100ccより O₂ 5 ccを得て利用し静脈血の酸素飽和は75% (分圧40mmHg) であるが、100%酸素吸入によつて静脈血酸素飽和は88%に迄高まるといわれている。100%O₂ 吸入により動脈血 O₂ 含有増加は健康人に於ては問題にならないといわれている¹⁾。

ところで今迄は動脈血酸素飽和度を測定する場合には動脈血を化学的に分折するか、或は又オキシメーター²⁾³⁾を用いた検索が行なわれて来ている。1950年 Montgomery 一派⁴⁾はポーラログラフを用いて100%の酸素吸入実験を行ない、この場合に認められる酸素分圧の急激な上昇は血漿中

の酸素に依存すると発表した。

また Penny 及び Montgomery⁵⁾ は酸素吸入を行なった場合にオキシメーターとポーラログラフ分折を併用して酸素吸入後組織に酸素が到達する迄の時間的経過について分折を行なった。

本邦では後藤⁶⁾ が1959年人体前膊に白金電極を挿入して100%の酸素吸入を行ないオキシグラフにより四肢の血管疾患のある患者の健側と患側の鑑別を行なった。

著者は既に第1報において白金電極による皮内酸素濃度測定に際して機械的および生理的諸因子について実験的並びに数理的検討を行なった。小児の心肺疾患を有する患者について、箕島・望月の考案になる島津OX-I型オキシグラフを用いて100%酸素吸入によりその検討を試みようと考え、かゝる実験方法を基礎として小児の皮内酸素濃度

Toshi KOIZUMI (Department of Pediatrics, Tokyo Women's Medical College): Studies on the cardiovascular function in children by measurement of intracutaneous oxygen concentration. II Report: Preliminary experiments.

Intracutaneous oxygen concentration resulting from inhalation of pure oxygen in adults.

を測定する場合の予備実験を行なう目的を以て、健康な成人10名について100%酸素吸入を行なった際に皮内酸素濃度が如何なる変動を示すかについて、無処置の皮膚に白金電極を挿入した場合、30mmHgで圧迫した場合、2%キシロカインで浸潤麻酔を行なって電極を挿入した場合の皮内酸素濃度の増加率と時定数とを求め、又同一個人について繰り返し同実験を行なった場合に如何なる差異を生ずるかについて検討した。

II. 実験装置および方法

1. 実験装置

実験装置は島津OX-I型オキソグラフを改良して記録式にしたもので、正負の電圧は $-0.5V$ 、 $+0.7V$ を8秒間隔で与え、周期は32秒としたものである。

詳細については既に第1報に報告したのでここでは省略する。

2. 電極

電極には直径0.3mmの白金線を用い、カシュー塗料で絶縁し、使用に当っては約45度に仕上げ砥石で研磨し、アルコール消毒を行なった。電極を挿入する場合には皮膚をアルコールであらかじめ消毒し、ツベルクリン針を用いて誘導孔を作った。誘導孔を作る場合は出来るだけ出血をおこさないように細心の注意を拂い、出血した場合は別の部位に誘導孔を作った。電極挿入部位として手背を用い、銀-塩化銀電極は小指にリングでぬれたガーゼと共に巻きつけ、上よりビニールカバーを施した。また室温は $20^{\circ}C \sim 26^{\circ}C$ に於て実験を行なった。

3. 被検者および酸素吸入法

被検者は20才~28才の健康成人10名を選びベットに仰臥位とし、実験開始と同時に顔面にマスクをヘッドバンドで密着させ、マスク→3方活栓→Jバルブ→ゴムバルーン→酸素ポンベと連結された装置で、最初室内空気を呼吸させその折の皮内酸素濃度を記録し、やがて血圧計のマンスケットにより200mmHgで前膊を2分間圧迫し、5分後に3方活栓により100%の酸素吸入を8分間行ない、再び3方活栓を切換えて室内空気を吸い、実験終了と同時にマスクを外すようにした。酸素ポンベは市販のものを用いた。

4. 実験順序

本実験は次の順序で行なった。

(1) 電極を手背に挿入し、血圧計のマンスケットを装置し200mmHgで圧迫した場合に見られる皮内酸素濃度

の減少率を調べ白金電極を含めて測定装置の操作の良否を判定する。

(2) 3方活栓切換により100%酸素吸入を行なう。

(3) 前膊をマンスケットにより30mmHgで圧迫しながら100%の酸素吸入を行なう。

(4) キシロカインで麻酔を行ない、麻酔局所に電極を挿入し、100%の酸素吸入を行なう。

III. 実験結果

1. 皮内酸素濃度の変化について

1) 200mmHgで圧迫した場合の皮内酸素濃度変化は第1図Aに示すように、圧迫開始と同時に漸次降下し始め、2分後に圧迫を開放すると同時に漸次約2分で定常態に達した。

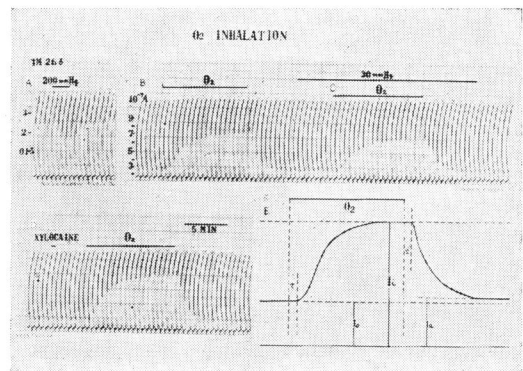


Fig. 1.

A : 200mmHg圧迫時、皮内酸素減少曲線

B : 100%酸素吸入時、皮内酸素濃度曲線

C : 30mmHgで圧迫しながら酸素吸入を行なった場合の皮内酸素濃度曲線

D : キシロカイン浸潤麻酔を行なって電極を挿入し100%酸素吸入を行なった場合の皮内酸素濃度曲線

2) 酸素吸入時における皮内酸素濃度曲線変化

a) 無処置の場合における変化

皮内に電極を挿入し100%の酸素吸入を行なう場合は第1図Bに示すように、酸素吸入開始と同時に皮内酸素濃度は指数函数的曲線を描きながら上昇し、多くは8分前後で定常状態に対し、酸素吸入中止と同時に再び指数函数的曲線を描きながら減少し、約5分~8分で定常状態に達した。

b) 30mmHgで圧迫した場合

第1図Cに示すのは30mmHgで圧迫しながら酸素吸入を行なったものであるが、上昇率は第1

図Bに比較すれば低いが、a) の場合と相似の上昇曲線、降下曲線を示している。

c) 電極挿入局所にキシロカイン浸潤麻酔を行なった場合。

第1図Dはキシロカインを注射して酸素吸入を行なった場合のものであるが、上昇曲線、降下曲線共に第1図A, Bと同型を示した。

2. 時定数について

著者は酸素吸入時および遮断時の皮内酸素濃度変化を定量的にまとめるために次のような取扱いを試みた。すなわち第1図EおよびFに示すように、酸素吸入開始前の電流値を I_0 とし、酸素吸入開始後最高に達した時の電流値を I_i とし、 I_0 から I_i に到る迄に変化する電流値を I_r とし、縦軸に $\log\left(\frac{I_i - I_r}{I_i}\right)$ を取り、横軸に時間(分)を取り、同様降下相では $\log\left(\frac{I_i - I_f}{I_i}\right)$ を縦軸に、横軸に時間を取ると、第2図に示す場合は、上昇

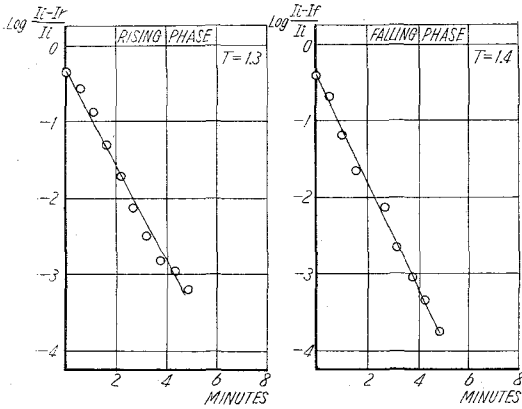


Fig. 2.

相、降下相共に直線性を示し、時定数は前者では1.3分、後者では1.4分である。ところで第3図の場合は、上昇相、降下相共に直線は1カ所で屈曲性を示し、上昇相の屈曲前の時定数は1.0、屈曲後の時定数は2.1である。降下相の屈曲前の時定数は1.1分、屈曲後のそれは2.3分である。第4図の場合は上昇相、降下相共に2カ所で屈曲線を示している例である。

第5図は無処置の場合に於ける直線と時定数を

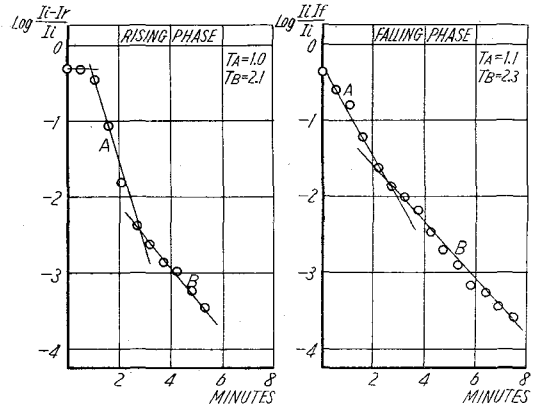


Fig. 3.

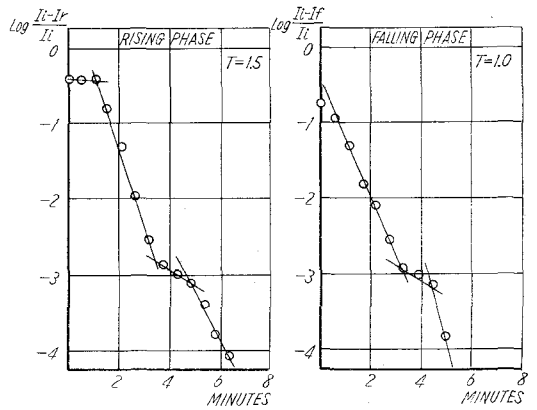


Fig. 4.

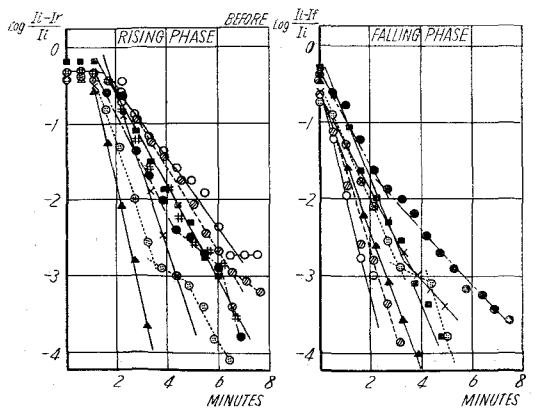


Fig. 5.

被検者10名について求めたもので、上昇相、降下相共に直線の屈曲線を示すものは4例ほど認めら

Table 1 Time Constat and I_i/I_0 .

			Before			30mmHg			Xylocaine		
			T (Min)		I_i/I_0	T (Min)		I_i/I_0	T (Min)		I_i/I_0
			R	F		R	F		R	F	
B. K	16	♀	1.5	1.0	266%	2.2	1.5	179%	1.3	1.4	312%
K. M	16	♀	1.2	1.1	338	1.7	0.7	291	1.0	1.0	263
K. J	20	♀	1.2	1.3	281	3.1	1.3	131	1.3	—	292
O. K	21	♀	1.0	1.0	285	2.1	1.2	249	1.0	1.4	335
S. S	21	♂	1.6	0.9	328	1.6	0.9	272	1.6	1.5	285
U. M	24	♀	0.7	1.0	288	0.7	1.0	263	1.1	1.1	308
N. D	24	♂	1.3	1.1	371	1.7	1.2	308	1.3	1.3	368
T. M	26	♂	1.8	0.9	326	1.8	0.9	276	2.0	1.1	405
O. D	28	♀	1.2	0.9	371	1.4	1.5	225	1.0	1.9	294
K. M	35	♂	1.0	1.7	264	0.8	0.8	265	1.0	1.3	307
MV			1.3	1.1	312	1.7	1.1	246	1.3	1.2	317

れる。時定数は第1表示すように、上昇相は 0.7 ~ 1.5分, 平均 1.3分, 降下相では 0.9 ~ 1.3分 平均 1.1分である

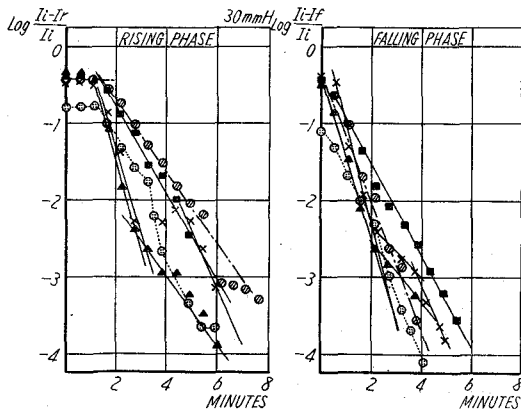


Fig. 6.

次に第6図は30mmHgで圧迫しながら酸素吸入を行なった場合の皮内酸素濃度曲線を上式によりその直線性と時定数とを求めたものであるが、この場合上昇相では多くの場合直線が屈曲性を示しており、降下相においても同様の結果が認められる。時定数は上昇相で第1表のように0.7~2.2分, 平均 1.7分, 降下相では 0.7 ~ 1.5分, 平均 1.1分である。

次に第7図は 0.2%のキシロカインの浸潤麻酔

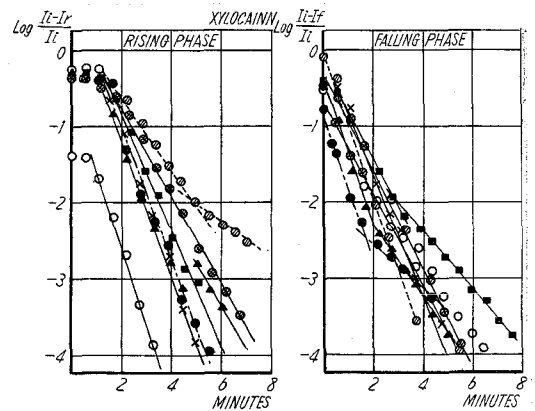


Fig. 7.

を行なつて電極を挿入後、酸素吸入を行なつた場合の皮内酸素濃度曲線を上式より直線性と時定数とを求めたもので、上昇相は殆んど直線性を示しており、降下相では、約半分に屈曲性を示した。時定数は第1表のように上昇相 1.0 ~ 2.0分, 平均 1.3分, 降下相 1.0 ~ 1.9分, 平均 1.2分であった。

いま無処置の場合、30mmHgで圧迫しながら酸素吸入を行なった場合、キシロカインを用いた場合の各々の上昇相、降下相における時定数を図にすると第8図の如くなり上昇相では 30mmHgで圧迫した場合がその値にひろがり有しキシロ

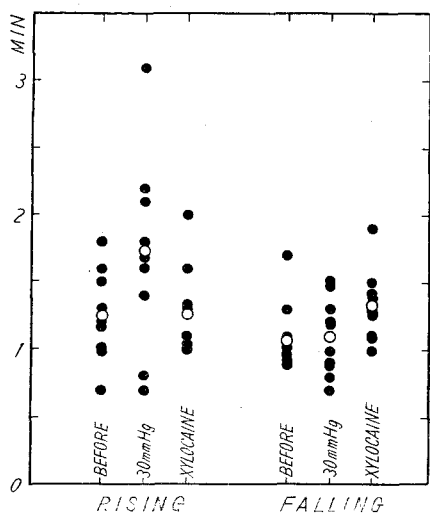
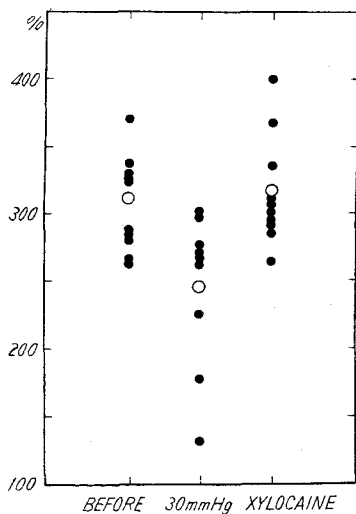


Fig. 8. Time Constant

カインを用いた場合は、無処置の場合よりも稍長いようである。降下相の場合は3者とも散らばりが少なく、30mmHgで圧迫した場合は、むしろ時定数は短いようである。

3. 上昇率について

酸素吸入前の皮内酸素濃度、すなわちその時の電流値を I_0 とし、酸素吸入後最高値に達した時の電流値を I_1 とし、 $I_1/I_0 \times 100$ を求めれば、100%酸素吸入時の上昇率が求められる。これは第1

Fig. 9. 上昇率について I_1/I_0

表に示すように無処置の場合の上昇率は266~338%平均312%、30mmHgで圧迫した場合は131~308%平均246%、キシロカインを用いた場合は285~405、平均317%であつた。この3者の関係を図表にすると、第9図のように、30mmHgで圧迫した場合は当然の事ながら上昇率は低く、キシロカインを用いた場合は無処置の場合より、稍と高い上昇率を示している。

4. 同一個人について繰り返し実験を行なつた場合。

1) 第10図に示したものはT.M.26♂の場合の時定数及び直線性を求めたものであるが、上昇相では3回の施行で直線は略一致を見せ、屈曲性を

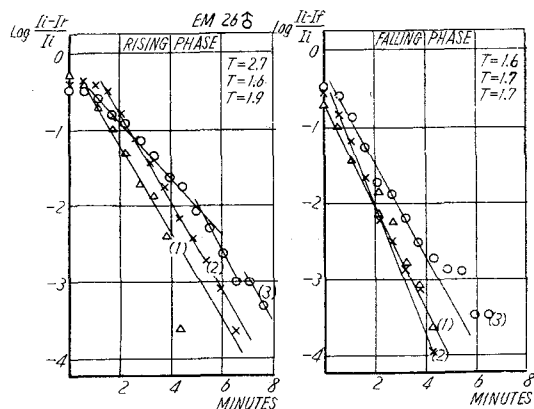


Fig. 10.

示しているのは1回のみであつた。時定数は2.7, 1.6, 1.9分で平均2.1分、降下相でも同様の直線性が認められ、時定数は1.6, 1.7, 1.7分で平均1.7分であつた。

2) 第11図に示すものはO・D28才♀の場合の時定数及び直線性を求めたもので、上昇相では3回の施行で図の如くその直線性を示すもの、屈曲性を示すもの、途中で直線性から外れるものと様々であり、時定数はそれぞれ2.3, 1.1, 1.2分、平均1.2分。降下相は3回の施行ともにきれいな直線性を示し、時定数はそれぞれ1.1, 0.89, 1.7分平均1.2分である。

3) 第12図はN・D26才♂の場合で上昇相、降

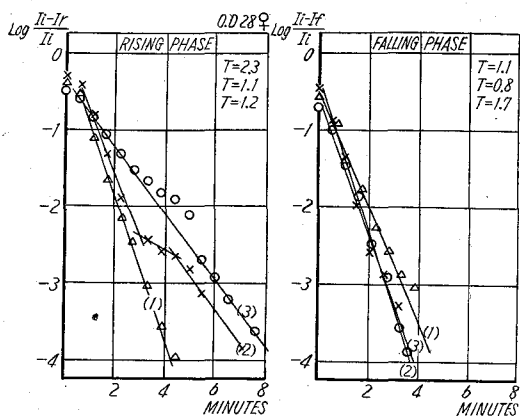


Fig. 11.

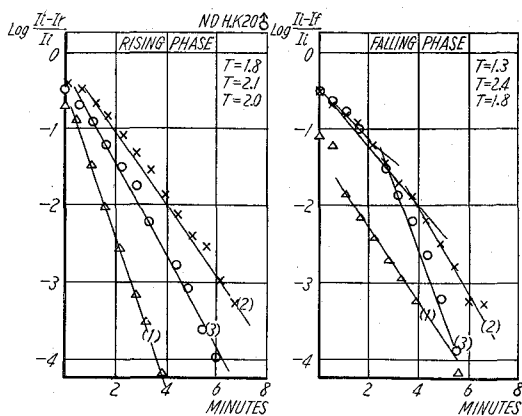


Fig. 13.

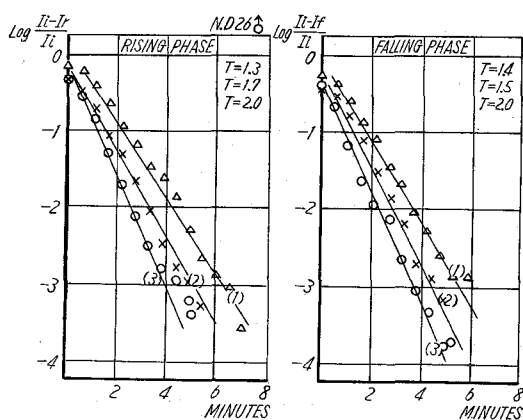


Fig. 12.

下相共に直線性を示し、時定数は前者の場合で、1.3, 1.7, 2.0分、平均 1.7分、後者では 1.4, 1.5, 2.0分、平均 1.6分である。

4) 第13図に示すものは、H.K 20才♀の場合で、上昇相は3回の施行で何れも直線性を示し、時定数はそれぞれ 1.8, 2.1, 1.0分平均 2.0分。降下相の場合3回のいずれの場合も曲屈性を示しており、時定数はそれぞれ 1.3, 2.4, 1.9分で平均 1.9分である。

5) 上昇率について

同様3名について3回同実験を施行して上昇率を求めると、第2表に示すように N.D 24才♂の場合は 287%~316%平均 305%、H.K 20♀の場合は 263~275%平均 269%、O.K 28才♀の場合

Table 2 Repeat test Time Constant and I_i/I_0

Name	Age	Sex	No.	T (Min)		I_i/I_0
				R	F	
N. D	26	♂	1	1.3	1.4	311%
			2	1.7	1.5	316
			3	2.0	2.0	287
			MV	1.7	1.6	305
H. K	20	♀	1	1.8	1.3	263
			2	2.4	2.4	275
			3	1.9	1.9	270
			MV	2.0	1.9	269
O. D	28	♀	1	1.3	1.1	246
			2	1.1	0.8	354
			3	1.2	1.7	292
			MV	1.2	1.2	297
T. M	26	♂	1	2.7	1.6	258
			2	1.6	1.7	269
			3	1.9	1.7	310
				2.1	1.7	279

は 246~354%、平均 297%の値が得られた。

IV. 考 按

1. 200mmHg 圧迫の意味について

200mmHg で圧迫した場合、皮内酸素濃度の減少が起るべき筈なのにそれが認められないか、或は殆んど認められないか、又は減少率が少ない場合には、これにひき続き酸素吸入を行なつても、皮内酸素濃度は何ら変化を示さない事を経験

した。この場合挿入局所を調べると、局所に出血していたり、又は更に電極の先尖に血液が附着している場合がある。或は又局所の血流が減少している場合が考えられる。すなわち 200mmHg で圧迫して局所の **microcirculation** の状態を調べる必要がある訳である。この血流が充分でない時には大循環系の酸素量変化をも表わし得ないと考えられる。したがって 200mmHg で圧迫しても皮内酸素濃度の低下が認められない場合、又は、出血を認めたような場合には電極をさし換え、又局所の循環状態が悪いと考えた場合は室温に注意して皮膚温の低下を防ぐ必要がある。

2) 時定数の意味について

先に実験結果の所で述べたように、酸素吸入時過渡応答は10~30秒の **dead Time** を経た後の指数函数的変化である。

ところで今当該局所の血流量を Q (cc/min) とすれば、毛細血管領野における血流速度は僅少であるので、Renkin⁹⁾の主張する如く、毛細血管を通して物質が組織内に移行する量 (C_0) は血流によつて持ち込まれる量に比例する。すなわち毛細血管壁の外側の組織液中の酸素濃度を C とすると、第1報と同様に、組織内の酸素濃度は一応は血流によつて運搬される過程と、他方此処から拡散によつて運び出される過程との兼ね合いとなる。この後者に Fick の第1則が適用できる。すなわち

$$\frac{dc}{dt} = K_1 C_0 - K_2 C \dots\dots\dots (1)$$

$$K_2 = \frac{A \cdot D}{d}$$

- C = 組織内酸素濃度
- C₀ = 毛細管内の血流中の酸素濃度
- A = 電極面積
- D = 酸素の拡散係数
- d = 拡散距離
- t = 時間 (分)

1) 式を解き、 $t=0, C=C_0$ とおくと

$$C = K_1 C_0 (1 - K_3 C^{-k_2 t}) \dots\dots\dots (2)$$

但し、 $K_1 = \frac{k_1}{k_2}, K_2 = k_2 = \frac{A \cdot D}{d}$

$$K_3 = \frac{\frac{k_1}{k_2} C_0 - C_1}{\frac{k_1}{k_2} C_0} = \frac{K_1 C_0 - C_1}{K_1 C_0}$$

となる。簡単の為に $K_1 = 1, K_3 = 1$ とおくと

$$C = C_0 (1 - e^{-K_2 t}) \dots\dots\dots (2')$$

となる。したがって $K_2 = \frac{1}{T}$ とおくと

$$C = C_0 (1 - e^{-\frac{t}{T}}) \dots\dots\dots (3)$$

となり、第1報の8)式の $K = 1$ ($k_1 = k_2$) の場合に当る。

i) 上昇相においては3)の $C = I_r, C_0 = I_i$ とおくと、

$$I_r = I_i (1 - e^{-\frac{t}{T}}) \dots\dots\dots (3')$$

すなわち

$$\log \frac{I_i - I_r}{I_i} = -\frac{t}{T} \dots\dots\dots (4)$$

となり T は時定数として求められる。

ii) 降下相においては減少する場合である故に

$$-\frac{dc}{dt} = K (C_0 - C) \dots\dots\dots (5)$$

上と同様に $t=0, C=0$ として求めると、

$$\log \frac{I_i - I_f}{I_i} = \frac{t}{T}$$

となり T より降下相の時定数が求められる。以上5), および6)式より求めれば、酸素吸入時皮内酸素濃度曲線の上昇相、および降下相における直線関係が求められ、時定数はこの直線の傾斜度によつて示されて来る。しかるに第3, 4図に示す場合は直線が1カ所、或は2カ所で屈曲性を示し、或は時間が経つと共に直線から外れる点が多くなるのは、第3式を導く場合実際の計算を簡単にするために $k_1 = k_2$ 、すなわち $K_1 = \frac{k_1}{k_2} = 1$ とした事によるもので、これは血流によつて組織の酸素の運ばれる速度と、拡散によつて組織から運び出される速度が等しいということになり、実際問題としては局所血管の縮小または拡張によつて k_1 は変動すると見るべきで、曲線の時定数の変動はこれを意味するものと考える。降下相においては、局所の酸素消費と、局所の血流によつて決定さ

れて来くるので、いわば局所の Microcirculation を見ている事に相当すると考えられ、この場合の検討はこの立場からなすべき事を示している。

後藤⁶⁾は健康男子14名に酸素吸入を行ない、上膊および母趾において皮下酸素圧の測定を行なっている。方法としては初め麻酔による影響を避けるため無麻酔で実験を行ない、その後0.5%のキシロカインで浸潤麻酔を行なっても無麻酔時の測定値と大差は無かつたと述べている。著者の実験によれば、無処置の場合、30mmHgで圧迫した場合、キシロカイン使用時との3者を比較して見ると、30mmHgで圧迫した場合は時定数の分散が大きいが、キシロカイン処置ではそれが少ない。酸素吸入時の皮内酸素濃度曲線の直線性についてもキシロカイン使用の場合は直線性を示し、直線から外れる点も少ない。これは血管周囲の皮膚の末梢神経が麻酔されているために血管反応が起きない為と考えられる。したがって臨床応用の時はキシロカインを用いれば、患者の疼痛を少なくする目的を兼ね、更に直線性を示す事、時定数が比較的一定値を示すこと等より、実験に当つてはキシロカインを用うべきと考える。

後藤⁶⁾は正常成人上膊および母趾皮下酸素圧の酸素吸入時の時定数を求め、上膊では上昇相が平均3.36分、降下相3.30分、母趾では上昇相2.76分、降下相3.46分の値を示しているが、著者は手背皮内では上昇相1.3分、降下相1.1分でこれを後藤⁶⁾の結果と比較すると約2分の差がある。実験に当り後藤は陰極に直径0.2mmの白金線を、陽極に甘汞電極を用いているが、著者は0.3mmの白金線を用い、陽極に銀一塩化銀電極を用いているのがこの差の原因と考えられる。

3. 上昇率について

酸素吸入後最高に達した時の電流値を I_1 とし、吸入開始前の電流値を I_0 とし、 $I_1/I_0 \times 100$ を上昇率(%)としたが、これについては3)式

$$C = C_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \dots \dots \dots (3)$$

において C_0 すなわち毛細管内の血流の酸素濃度

が高くなれば、 C すなわち組織内の酸素濃度は大となる訳で、100%の酸素吸入を行なつた場合は毛細管内の血流中の酸素濃度が高くなるために C が高くなると考えられる。したがって心肺機能疾患のある場合は吸入した酸素が十分に肺泡毛細管に摂取されないので皮内酸素濃度の上昇率は低くなると考えられる。

Montgomery⁹⁾は前膊に25ゲージの白金電極を挿入し指先をリンゲル液に浸し、銀一塩化銀電極を用い、Oronasa! B.L.B マスクを用い、右→左の短絡のない患者について行なつた実験での皮内酸素濃度上昇率は、最低は130%から最高823%、平均329%と報告しているが、著者のデータでは無処置の場合平均312%、キシロカイン使用で317%と殆んど同値を示している。

4. 100%酸素吸入時と停止時における皮内酸素濃度曲線について。

以上著者は大体において後藤⁶⁾の行なつた方法に従つて上昇相および降下相の分析を行なつたが、著者の簡易化した数式はあくまでも実用であつて、後藤の時定数の求め方はこの簡易化した3)式によくあてはまる事を明らかにした。酸素が肺泡で毛細管内に拡散によつて取り入れられ、そこから肺静脈、左心房、左心室、大動脈系を経て、手背の皮内の毛細管に達するとすれば厳格な意味では、(1)毛細管内の酸素濃度、(2)組織内の酸素濃度、(3)細胞の酸素消費量を考慮に入れた少なくとも3個のCompartment における酸素の移動を論じなければならない。このような場合には酸素濃度の時間曲線は K_1, K_2, K_3 の如き3個のパラメーターを持つた複合曲線として示され従つていわゆる時定数も少なくとも3組出現することになる。この見解は上昇相についても、又降下相については特に詳細に検討すべきものと考えられる。

V. 総括

1) 健康成人10名について、手背皮内に白金電極を挿入し、小指に銀一塩化銀電極をリンゲルガーゼで装着し、島津OX-I型オキシグラフを用

い、100%の酸素吸入を行ない、手背皮内酸素濃度変化を、(1)無麻酔時、(2)測定側前膊を血圧測定用マンシエットにて30mmHg 圧迫しながら酸素吸入を行なった場合、(3)測定箇所を2%キシロカインによる局所麻酔を行なって酸素吸入を行なった場合につき記録式オキシグラフを用いて検討した。

2) 吸入時の皮内酸素濃度の過渡応答は10~30秒の dead Time を経た後の指数函数的変化である。したがって組織内酸素濃度をC、毛細管内の血流の酸素濃度をC₀とすると、 $C = C_0(1 - e^{-\frac{t}{T}})$ の関係のある事が分つた。

3) 上記の関係より吸入時および停止時の皮内酸素濃度の対数は一次関係にある。したがって両者を求めてその直線の傾斜から時定数Tを求める事ができる。健康成人10例につき時定数を求め、それらの平均値について見ると、無麻酔時では上昇相 1.3分、降下相 1.1分、麻酔時は無麻酔時と大差は無く、圧迫時は上昇相 1.7分、降下相 1.1分で上昇相の時定数が増加している。

4) 酸素吸入開始後8~10分で皮内酸素濃度は定常値に達するが、その定常値の上昇率の平均値は吸入前の310%であり、麻酔時は320%で大差はなく、圧迫時は240%で明らかに低下している

事が認められた。

5) 同一個人について同側手背皮内酸素濃度を3カ所について同実験を行なったところ、時定数、上昇率共に同値は求められず、時定数は可なり分散している。

6) 時定数は一般的には単一ではなく複合性を示すが、その原因については今後の研究にまつべきであると考ええる。

稿を終るに当り、種々御指導、御校閲を戴きました磯田仙三郎教授、箕島高教授、草地良作助教授に深謝致します。

文 献

- 1) 尾山 力：酸素療法の実際 第1版 永井書店 大阪 昭35 4頁
- 2) Comroe, J.H., Jr and Wood, Earl. H.: Methods in Medical Research 2 144 (1950)
- 3) Millikan, G.A.: Rev. Scient. Instruments. 13 434 (1942)
- 4) Penneys, R.: J. Clin. Invest 31 204 (1952)
- 5) Penneys, R. and Montgomery H.: J. Clin. Invest. 31 1042 (1952)
- 6) 後藤 宏：呼吸と循環 7 171 (1959)
- 7) 小泉とし：東女医大誌 31 66 (1961)
- 8) Reynolds, S.R.M., Zweifach, B.W.: The microcirculation Ied. The University of Illinois Press. Urbana (1959) 33
- 9) Montgomery, H., Zinsser, H.F., Jr. Horwitz O.: Circulation 2 845 (1950)