

筋作業，体液酸塩基平衡の変動と 血液有形成分の数の変化について

金沢大学医学部第一生理学教室(主任斎藤教授)

萩野修

Osamu Ogino

(昭和30年11月16日受附)

Alteration of Blood Cell Count due to Muscular Exercise
as well as Disturbance of Acid-base Balance.

Osamu Ogino

1st Department of Physiology, Faculty of Medicine,
Kanazawa University.

(Director : Prof. K. Saito)

I 緒 言

体液の酸塩基平衡が血液の有形成分の性狀に及ぼす影響に関しては、幾つかの研究が既に報告されている。例えば、Detre (1927)¹⁾は犬に長期に亘り磷酸又は塩酸を投与して、赤血球数の増加するのを認めている。又、Detre (1930)²⁾は犬及び人体について、筋作業を行う際に NaHCO_3 を投与すれば赤血球数の増大を予防し得る事実より、筋作業時の赤血球増多は Säureerythrocytose であるという。Hoff (1934)³⁾は臨床的に Acidosis の患者につき赤血球及び白血球の増多、核左方推移を、Alkalosis では白血球の核右方推移を認めている。水野 (1937)⁴⁾、平井 (1942)⁵⁾は、家兎について体液酸塩基平衡の変動と白血球平均核数の関係について研究し、酸塩基平衡発生機序によりその成績の異なることを報告している。その他、 CO_2 吸入による呼吸性 Acidosis の場合については Dalling (1916)⁶⁾、

Dufton (1917)⁷⁾、Miller (1940)⁸⁾、黒田 (1948)⁹⁾等が家兎又は犬について実験している。その結果を総合すれば、赤血球、網状赤血球及び白血球の増加を認めている。

以上の諸研究は、多くは動物について個々の血液有形成分の消長を観測したものであり、又体液酸塩基平衡が如何ほど変動しているかについて記載したものが少ない。

著者は人体について実験的に急性の代謝性及び呼吸性の Acidosis 及び Alkalosis を発現せしめ、この際おこる血液有形成分の性狀の変化を広汎に検討した。又、筋作業時に血液有形成分の性狀が変化することは周知の事であるが、これが同時におこる Acidosis に如何ほど起因するかについて明らかにする目的を以て本研究に着手した。

II 実験方法

被検者には教室勤務の健康成年男子3人(29~31歳)が当つた。

酸塩基平衡の変動を発現する方法として次の方法を選んだ。

1) 自転車 Ergometer を用いた筋作業による代謝

性 Acidosis

2) 塩化アンモン及び重曹服用による実験的代謝性 Acidosis 及び Alkalosis

3) CO_2 を5~6%含有する空気呼吸による呼吸性 Acidosis 及び随意性過呼吸による呼吸性 Alka-

losis

血液の pH 測定は齋藤・本田の微量用ガラス電極法により、手指末端より皮膚毛細血管血を採つて室温にて測定し、これより体温における値を算出した¹⁰⁾。(血液 pH は各々代表的な 1 例を図示した.)

赤・白血球数は、Thoma-Zeiss の血球計算器を用い、稀釈液として Hayem, Türk 氏液を用いて算定した。

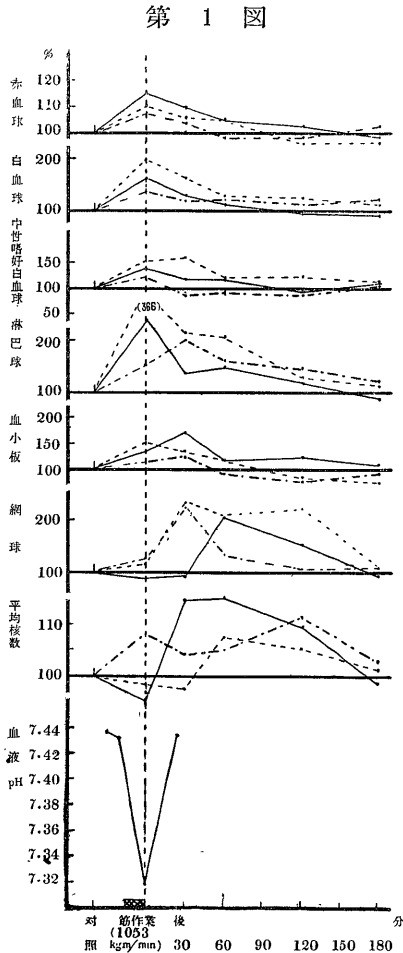
白血球像は、血液塗抹標本を作り Giemsa 染色を行つて白血球 200 を算え百分率を決定した。中性嗜好白血球の核推移の傾向を知るためには、杉山の平均核数法¹¹⁾を用いた。

血小板数は、Fonio 氏法¹²⁾により、網状赤血球(以下網球と略す)数は Schilling-Jorgan 氏法¹³⁾にならつて超生体染色により計算した。

III 実験成績

〔I〕筋作業実験

1) 強度短時間筋作業の場合



作業前45分間安静にし、筋作業は 1053kgm/min の負荷で 8 分~10分間行つた。

血液 pH は筋作業により急激に低下し、-0.10 pH にも及ぶが、筋作業の終了と共に速かに恢復した。

赤、白血球数の増加は、筋作業直後に著しく、赤血球数は +11.0% (実験例の平均値を示した。以下同様である。)白血球数は +62.6% に及び以後漸減した。

血小板、網球の増加は、筋作業後に著しく作業後30分では、血小板数+39%、網球数86%に達した。

白血球の内、リンパ球の増加は特に著明で作業直後には +149% にも達し、リンパ球の増加率は他の血液有形成分の増加率より遙かに大きい。

白血球の核移動は、平均核数が作業直後に或いは減少し、或いは増加し一定の傾向を示さなかつた。作業後の経過は何れも平均核数が増加し(60分後+9.6%)核右方推移の状態を示した。

エオジン嗜好白血球、単核球の数の変動には一定の傾向がなかつた。

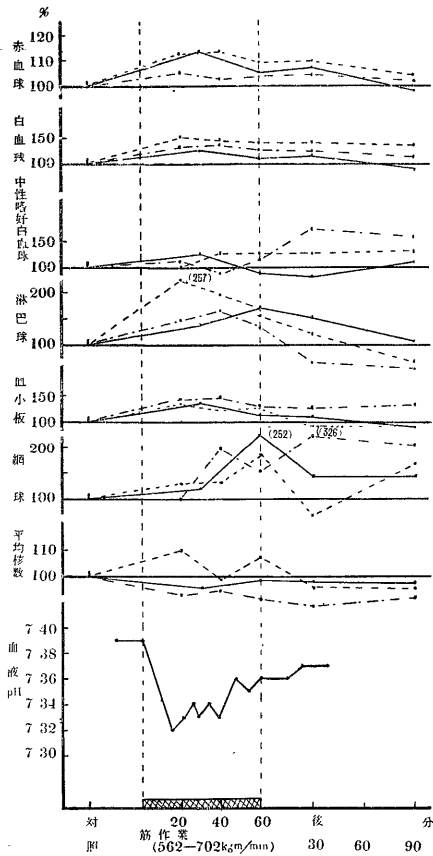
2) 軽度長時間筋作業の場合 (第2図)

筋作業は562~702 kgm/min の負荷で60分間行つた。筋作業中は20分目、40分目に、作業後は直後及び30分後に採血観察した。

血液酸塩基平衡は筋作業開始と共に急に Acidosis に傾き (-0.06~-0.10 pH), 作業を続行しても漸次恢復する傾向を示し、以後軽度の Acidosis の状態 (約 -0.03 pH) を持続した。その持続時間は作業終了後15分に及んだ。

赤、白血球数、血小板数の変動は、血液 pH

第 2 図



の低下に略々平行し、寧ろ筋作業の前半に増加する傾向を示した。即ち、血液 pH が最低値を示す筋作業開始後20分では、赤血球数+8.5%、白血球数+36%、血小板数+40%の増加を認めた。作業開始後40分には、下降した血液 pH は恢復に向い、赤血球数+7%、白血球数+30%、血小板数+29%の増加を示した。網球数は反つてこの時期に+67%の増加を認めた。かかる血液有形成分の数の増加も作業終了後90分では、網球数の増加(+69%)を除き殆んど旧に復した。

白血球の内、淋巴球の増加は作業初期(20分)に著明であるのに(+100%)、中性嗜好白血球は作業中著変が認められなかつた。しかし、筋作業終了後30分を経過すると、淋巴球数は減じ

(30分後+14%、90分後-32%)、中性嗜好白血球数の増加(30分後+28%、90分後+33%)とその処をかえた。この変化に似て、作業中一定しなかつた白血球の核推移は、筋作業後平均核数値が何れも減少し(30分後-7%、90分後-6%)、核左方推移の状態となつた。

エオジン嗜好白血球、単核球の数の変化には一定の傾向が認められなかつた。

以上の如く筋作業時には多少なりとも Acidosis を来すが、これに伴つて血液有形成分の増加を認めた。個々の有形成分の増加率を比較するに、赤血球の増加率は白血球、血小板、網球のそれらより低く、白血球中でも淋巴球の増加率は最も大きい。これら各有形成分の増加率は負荷される作業強度によつて異なる外、軽度長時間作業実験において認められるように、増加率の最大を示す時期が各有形成分によつて様でない。これら筋作業時に認められる血液有形成分の増加は相互に可成り独立した反応と考えられるが、体液の酸塩基平衡の変動と如何ほどの関連を有するかを検討する目的を以て次の実験を行つた。

II) 代謝性酸塩基平衡移動実験

1) 代謝性 Acidosis の場合

i) 安静時における変化(第3図)

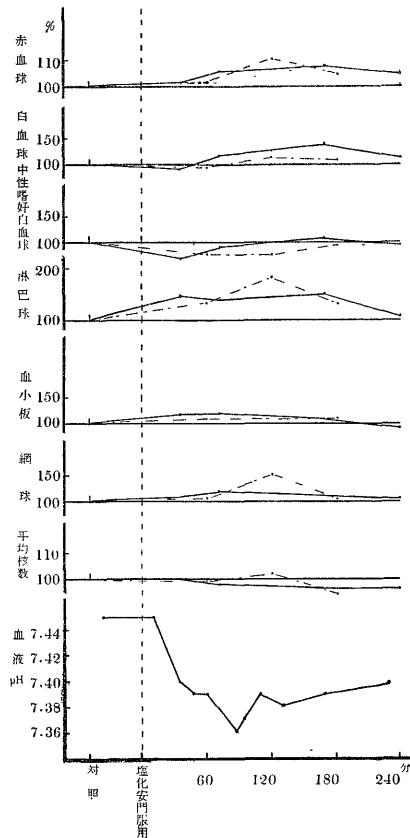
実験的 Acidosis をおこすには塩化アンモン 5~8g を水 200cc と共に服用した。実験中は安静にし、水分食事の摂取を禁じた。

塩化アンモンを服用すると、血液 pH は漸次低下し 100 分前後に最低(-0.08 pH)となり、後、恢復しつつ経過するが、4~5 時間後にもなお軽度の Acidosis の状態(-0.04 pH)に止まつた。

血液有形成分の数の増加は、Acidosis の進行と共にその度を増したが、血液 pH の低下とは並行しなかつた。増加の割合が最大(赤血球+7%、白血球+10%、血小板+10%、網球+30%)となるのは遅く、その恢復も徐々に進んだ。

白血球の内、淋巴球の増加は著しく(+50%)且つ持続的であつた。中性嗜好白血球は寧ろ減

第 3 図



少し (-13%),白血球の核推移には著変を認め得なかつた. エオジン嗜好白血球, 単核球の数の変動は一定しなかつた.

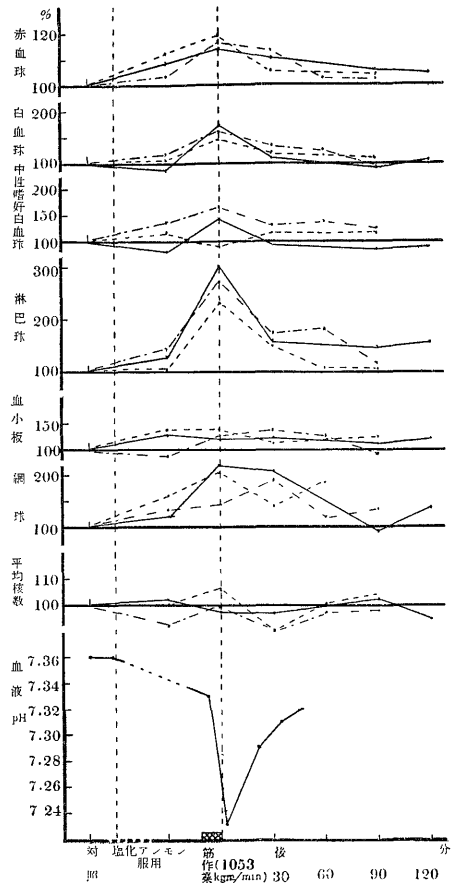
ii) 筋作業時における変化 (第 4 図)

塩化アンモン 5.0g を水 200cc と共に内服して実験的 Acidosis の状態とし, これに 1053kgm/min の筋作業を 5~10分間行わせて, この際現われる血液有形成分の変化を観察した.

塩化アンモン服用によつて漸次低下した血液 pH (-0.05 pH 前後) は, 筋作業により更に著明な低下 (-0.1 pH) を来し, その回復は単純な筋作業の場合よりも遅れた.

前節のように, 実験的代謝性 Acidosis による血液有形成分の数の増加は (赤血球 + 7%, 白血球 + 3%, 血小板 + 14%, 網球 + 31%), 筋作業により更にその度を増した. 即ち, 筋作業直

第 4 図



後には赤血球 + 16%, 白血球 + 58.6%, 血小板 + 24% の増加を来し, 網球数も + 93% の増加を認めた. 白血球の内, 淋巴球の増加は中性嗜好白血球の増加 (+ 27.7%) に比し殊に著しく, 作業直後には + 171% にも及び 30 分後にもなお + 57% の増加を認めた. 白血球の核推移は, 筋作業後平均核数値が何れも減少し (-6%), 核左方推移の傾向を示した.

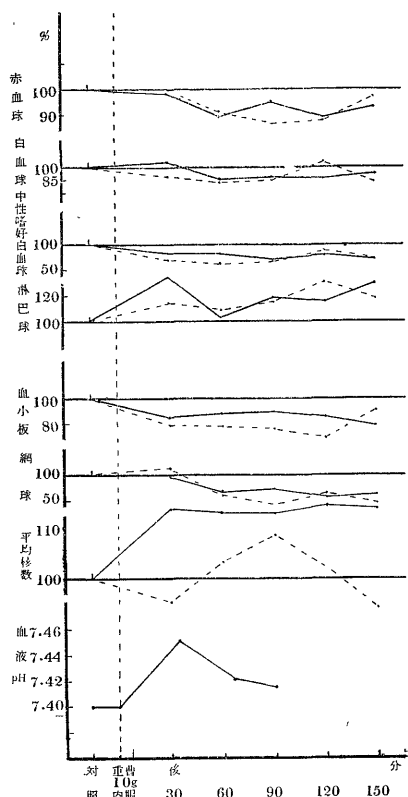
2) 代謝性 Alkalosis の場合

i) 安静時における変化 (第 5 図)

実験的 Alkalosis は NaHCO_3 10g を水 200cc と共に服用しておこした. 実験中は安静にし, 水分食事の攝取を禁じた.

NaHCO_3 を内服すると, 血液 pH は比較的短時間 (30分~60分) で上昇し (+0.05~+0.06

第 5 図



pH), 後回復に向う。

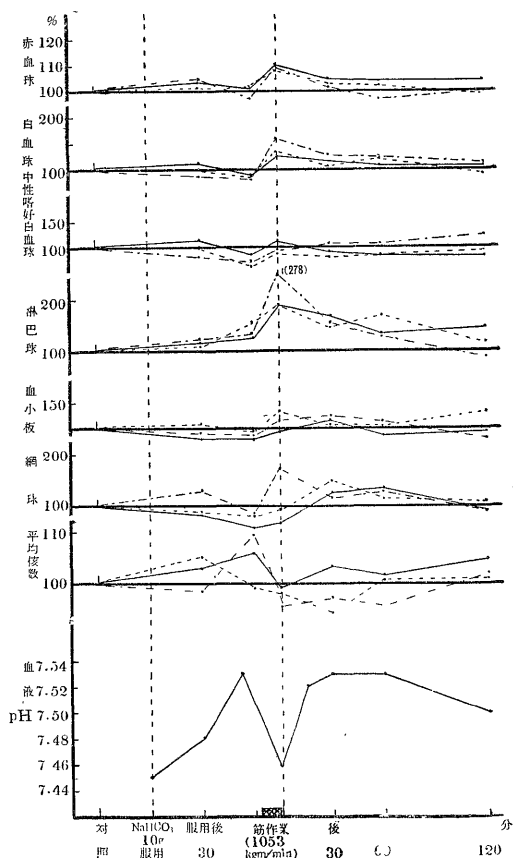
血液有形成分の数は、血液の反応が Alkalosis に傾いた後に減少し (赤血球-10%, 白血球-14.5%, 血小板-19%, 網球-36.4%), この状態より徐々に回復する傾向を認めた。

血液 pH の増大に伴い白血球の内、淋巴球は持続的に増加し (+24%), 中性嗜好白血球は減少した。白血球の核移動は、血液 pH が最大に達した後、平均核数が増加し (+8%), 核右方推移の状態となった。エオジン嗜好白血球の増加 (約+1%) は顕著でなく、単核球の変化には一定の傾向がなかった。

ii) 筋作業時における変化 (第 6 図)

被検者は NaHCO_3 10g を水 200cc と共に服用し、実験的 Alkalosis の状態の下に 1053 kgm/min の筋作業を 7分~10分行い、この際現わ

第 6 図



れる血液有形成分の変化を観察した。

NaHCO_3 の内服によって一旦 Alkalosis (+0.08 pH) に傾いた血液の反応は、筋作業により一時的に復元し、血液の pH は略々正常値 (pH 7.46) となる。作業を終ると再び軽度の Alkalosis (+0.06 pH) に傾きその状態が続いた。

前節の如くに、血液有形成分は作業前、実験的 Alkalosis のため減少に傾き、赤血球数には著変がなかつたが、白血球数 (-4%), 血小板数 (-16%), 網球数 (-23%) の減少を認めた。白血球の内、淋巴球の増加は +36% に達したが、中性嗜好白血球は反つて減少し (-24%), その平均核数は +4% で核右方推移の状態であつた。

かかる状態で筋作業を行うと、血液有形成分は軽度増加し (赤血球 +9.3%, 白血球 +43%, 血小板 +12%, 網球 +16.9%), 単純な筋作

業の場合よりその程度は少ない。白血球の内、淋巴球の増加が顕著(+126%)である反面、中性嗜好白血球数は正常域に止まつた。白血球の核移動は、平均核数が筋作業直後減少(-3%)し核左方推移の傾向を示すのを認めた。

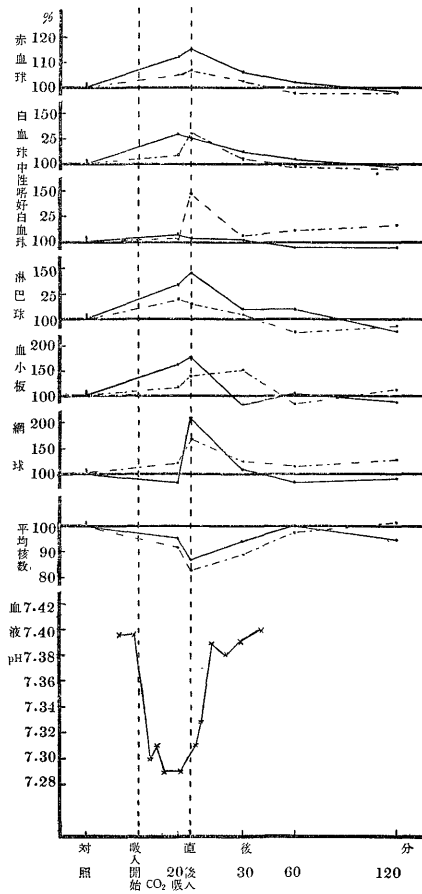
以上の如く、実験的 Alkalosis の状態で筋作業を行うと、血液 pH は筋作業により正常値に恢復するのに血液有形成分の数の増加を認めた。

Ⅲ) 呼吸性酸塩基平衡移動実験

1) 呼吸性 Acidosis (第7図)

安静に椅坐した被検者に、呼吸弁を介して1000L 入大型ダグラスパック内の CO₂ 混合空気 (CO₂ 5.6~6.0%, O₂ 19.9%) を吸入させ、呼吸性 Acidosis をおこした。吸入時間は 26~

第 7 図



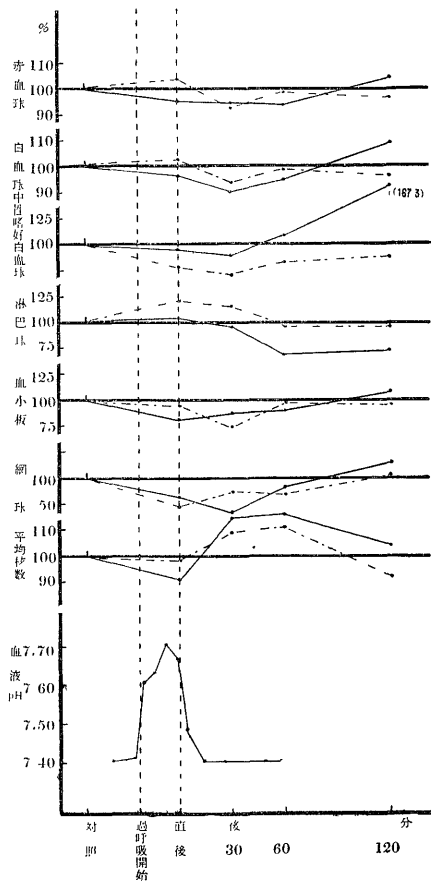
28分であつた。

血液の酸塩基平衡は、CO₂ 吸入を開始すると直ちに著明な Acidosis に傾き (2~3分で-0.05~-0.09 pH), 吸入を終了すると速かに恢復し10分以内に正常域に復元した。

血液有形成分の数は、CO₂ 吸入終了直後に最も増量し (赤血球+11.2%, 白血球+25.3%, 血小板+57%, 網球+87.5%), 吸入終了後60分には殆んど急に復した。白血球の内、淋巴球の増加は著しく(+27%), 中性嗜好白血球数の増加も認められた。白血球の核推移は、吸入後平均核数が減少し (-15.7%) 核左方推移の状態であつた。エオジン嗜好白血球, 単核球の変化には一定の傾向がなかつた。

2) 呼吸性 Alkalosis (第8図)

第 8 図



安静に椅坐した被検者に呼吸弁を介して随意性過呼吸を行わせ，呼吸性 Alkalosis の状態とした。呼吸は 1000 L 入大型ダグラスバック内に呼出し，呼気量を測定した。過呼吸は耐え得る限り続行し17～23分継続実施した。その呼気量は安静時の平均4.7倍に達した。実験中は水分食事の攝取を禁じた。

血液酸塩基平衡は，過呼吸と共に著明に Alkalosis に傾き（3～5分で +0.15～0.20 pH），過呼吸の後半には +0.26～0.30 pH の血液 pH の上昇を来し，全身のしびれ感，四肢の振顫，厥冷等の如き強い Alkalosis の症状を呈し，過呼吸中止のやむなきに至つた。かかる強い Alkalosis も過呼吸を停止すると速かに恢復した。

血液有形成分の数は，何れも過呼吸停止後に減少し（赤血球-6%，白血球-8.9%，血小板-21%，網球-45.8%），停止60分後には大凡旧に復した。白血球の内，淋巴细胞は過呼吸停止直後には増量したが(+12%)，後，減少に傾いた。過呼吸停止直後には減少(-13%)した中性嗜好白血球は，後増加する傾向を示した。白血球の核推移は，過呼吸後平均核数が増加し(+12%)，核右方推移を来した。

IV 考 按

以上の実験成績より主要な血液有形成分の変動の平均値の一覧表を作ると第1表となる。掲げた数値は対照（正常値）の平均値を100%とした時の百分率である。正号は増加，負号は減少を表わす。

この表より，酸塩基平衡の変動が血液有形成分の数に及ぼす影響は，その発現機序が代謝性たると呼吸性たるとを問わず，同様の顕著なものであることが分る。一般的にいえば，Acidosis は赤血球，淋巴球，中性嗜好白血球，血小板，網球等の血液有形成分の数を増し，Alkalosis は淋巴球以外の血液有形成分を減少させる。淋巴球は何れの場合にも増加する。かかる

第 1 表

	強度筋作業		間短作業		軽度筋作業		長時作業		時間		実験的 Acidosis の場合		実験的 Alkalosis の場合		呼 吸 Acidosis		呼 吸 Alkalosis	
	筋作業	直後	筋作業	筋後三分	筋作業	筋後三分	筋作業	筋後三分	筋作業	筋後三分	筋作業	筋後三分	筋作業	筋後三分	筋作業	筋後三分	筋作業	筋後三分
赤血球	+11.0	+6.0	+8.5	+7.0	+5.9	+4.6	+7.0	+4.6	+7.0	+4.6	+7.0	+4.6	+7.0	+4.6	+7.0	+4.6	+7.0	+4.6
白血球	+62.6	+31.6	+36.0	+30.0	+25.3	+17.0	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
淋巴球	+149.3	+81.3	+100	+82.0	+60.0	+13.3	+50	+50	+50	+50	+50	+50	+50	+50	+50	+50	+50	+50
中性嗜好白血球	+28.0	+14.3	+1.2	+1.0	+3.5	+28.3	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13
平均核数	±	+	±	-	±	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
血小板	+31.0	+39.3	+40.0	+29.0	+21.6	+4.0	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
網状赤血球	+16.2	+86.3	+17.5	+67.6	+96.6	+81.3	+30	+30	+30	+30	+30	+30	+30	+30	+30	+30	+30	+30
血液pH最大変動	-0.10	-0.06	-0.10	-0.08	-0.08	-0.13	+0.06	+0.06	+0.06	+0.06	+0.06	+0.06	+0.06	+0.06	+0.06	+0.06	+0.06	+0.06

(対照値を百とし各実験の百分比をとつた)

血液有形成分の数の短時間内における変動は、循環系（血管系・リンパ管系）内における血液有形成分の分布の変化に基くものである。

Acidosis の場合、白血球の増加率は赤血球のそれを遙かに越えている。特にリンパ球においてその傾向が著しい。これは白血球殊にリンパ球には特別の増加機序のあることを物語っている。

又、筋作業時には、一般にこれに随伴する Acidosis 以外にも血液有形成分殊に白血球を増加せしめる要因のあることは、実験的 Alkalosis 時の筋作業実験より推知出来る。即ち、この際血液の反応は全く正常に回復しているが、血液には著明な変化が現われている。この要因の本態に関しては未だ推量の域に止まるが、この効

果が一般の筋作業時には Acidosis の効果と加重して、特に著明な変化を血液有形成分にもたらすものと考えられる。

軽度の長時間筋作業時における血液有形成分の数の変動は、各有形成分により遅速の差別が認められる。即ち、赤血球・リンパ球の変化は速かに発現し、作業継続中においても速かに消退し血液 pH の変動と略々平行するに反し、中性嗜好白血球・血小板・網球では作業の経過と共に漸増する傾向を示し前者とその増減の傾向を異にしている。他の実験条件の場合においても、同様のかかる各有形成分特有の消長経過が窺われ、各有形成分の変動は簡単な機序では説明し得ないものと考えられる。

V 要

人体について筋作業時及び種々の代謝性並びに呼吸性 Acidosis 及び Alkalosis 時の血液有形成分〔赤血球・白血球（リンパ球・中性嗜好白血球・平均核数）・血小板・網状赤血球〕の数の変化を検索した。

1. 酸塩基平衡の変動が血液有形成分の数に及ぼす影響は、その発現機序が代謝性たると呼吸性たるとを問わず、同様に顕著なものである。

2. 一般に、Acidosis の場合、血液有形成分は全般的に増加する。白血球の増加率は赤血球の増加率を遙かに越え、特にリンパ球においてその傾向が著しい。Alkalosis の場合、血液有形成分は全般的に減少するが、リンパ球のみは僅か乍

約

ら増加する。

3. NaHCO_3 服用による代謝性 Alkalosis 時に筋作業を行うと、作業直後の血液の反応は全く正常に回復しているに拘わらず、血液有形成分は著明に変化した。即ち、筋作業時にはこれに随伴する Acidosis 以外にも血液有形成分を増加せしめる要因のあることが推測される。

4. 体液の酸塩基平衡の変化に際してみられる血液有形成分の数の変動は、その変動率においても亦変動の時間的経過においても、個々の血液有形成分によつて異なる。

終りに臨み終始御指導と御校閲を賜りました齋藤教授に衷心より謝意を表す。又、実験に際し種々御援助下さつた下川・故奥出河氏の御好意に感謝する。

文

- 1) **Detre, L.** (1927) : Über die erythropoetische Wirkung der Azidose. Zschr. exper. Med. **56** : 76. 2) **Detre, L. u. I. Zárday.** (1930) : Über die Pathogenese der Arbeitserythrozytose. Zschr. klin. med. **114** : 379. 3) **Hoff, F.** (1934) : Zusammenhänge zwischen

献

- Blutmorphologie und den humoralchemischen Verhältnissen des Blutes. Erg. Inn. Med. **46** : 1. 4) **水野三男** (1937) : 血液の酸塩基平衡と白血球の核移動との関係に就て. 十全会誌 **42** : 629. 5) **平井邦男** (1942) : 血液酸塩基平衡, 主として実験的アチドージスと白血球核

- 移動との関係 . 十全会誌, 47 : 621. 6)
- Dalling, H. C. et al.** (1915): The mechanism adapting the oxygen Capacity of the blood to the requirements of the tissues. *Am. J. Physiol.* 39 : 77. 7) **Dufton, D.** (1917) : Increase of erythrocytes resulting from exposure to Carbonic Acid. *J. Physiol.* 51 : 5. 8)
- Miller, A. T.** (1940) : Acclimatization to Carbon dioxide. A study of chemical and cellular changes in the blood. *Am. J. Physiol.* 129 : 524. 9) **黒田正夫** (1948) : CO₂長時間吸入の生体に及ぼす影響. *日本衛生学誌*, 2 : 2, 21. 10) **斎藤幸一郎・本田良行** (1955) : 微量ガラス電極による血液 pH とその温度係数の測定. *日新医学*, 42 : 167. 11) **杉山繁輝** (1942) : 血液及組織の新研究と其方法, 123.
- 12) **小宮悦造** (1951) : 臨床血液学, 17.
- 13) **小宮悦造** (1951) : 臨床血液学, 3.