

筋作業時及び体液酸塩基平衡変動時 における尿所見について

金沢大学医学部第1生理学教室(主任 斎藤教授)

荻 野 修

(昭和32年1月29日受付)

Changes in Urine Compositions due to Muscular Exercise
as well as Disturbance of Acid-Base Balance

Osamu Ogino

The First Department of Physiology, School of Medicine, Kanazawa University
(Director : Prof. Dr. K. Saito)

I 結 言

体液の酸塩基平衡はその巧妙な調節機序によつて安定に維持されている。筋作業その他のこの平衡を乱そうとする要因が働いても、血液の pH は正常値の附近に保たれている。しかしこのとき酸塩基平衡の調節に関与する諸機能、就中呼吸と尿排泄機能の活動状況は正常状態と著しく異なつたものになっている。腎臓は本来体液より過剰物質を分離し尿を生成するものであるから、その活動状況の変化により直ちに尿組成に影響を及ぼす。

筋作業時、その他の体液酸塩基平衡変動時における尿成分の変化については、従来多くの業績が発表されている。例えば、Wilson, Long, Thompson (1925)¹⁾等は、生体に及ぼす強度短時間筋作業の影響を観察し、筋作業によつて、尿量の減少、尿 pH の低下、酸(尿滴定酸度、 NH_4)排泄の増大、Cl 減少、 PO_4 の排泄増加を報告した。又、吉川・福山(1940)²⁾は、筋作業による一過性の酸性症の結果、尿 pH の低下、滴定酸度、尿 NH_4 量、磷酸量の増大、尿量、尿中 Na, Cl の減少、蛋白尿出現等の諸変化を認め、Wilson et al と同様な結果を得たことを報告している。その他、沼田・高野(1941)³⁾、沢田等(1951)⁴⁾、林等(1952)⁵⁾、村上(1953)⁶⁾、北浜(1955)⁷⁾等によつて個々に同様の検討が行われた。

かかる筋作業による代謝性 Acidosis の場合のほか、塩化アンモン投与による代謝性 Acidosis の場合

についても、Haldane (1921)⁸⁾、佐藤(1939)⁹⁾、小出(1940)¹⁰⁾等によつて研究され、筋作業の場合と同様に、尿 pH の低下、酸排泄の増大の起ることを報告している。

又、Davies and Haldane (1920)¹¹⁾、Collip and Backus (1920)¹²⁾、藤本(1938)¹³⁾、佐藤(1939)¹⁴⁾、Brassfield (1941)¹⁵⁾、黒田(1948)¹⁶⁾、川上(1952)¹⁷⁾等によつて、個々に呼吸性 Acidosis 及び Alkalosis の際の尿成分の変化についても研究され、何れも Davies and Haldane によつて主張された如く、呼吸性 Acidosis では酸排泄、 PO_4 の排泄が増し、過呼吸による呼吸性 Alkalosis では減少することを認めている。しかし最近 Longson and Mills (1953)¹⁸⁾は呼吸性 Acidosis に対しては腎臓は何ら反応を示さないといつている。

以上の如く、筋作業による代謝性 Acidosis, 塩化アンモン投与による代謝性 Acidosis, CO_2 吸入による呼吸性 Acidosis, 何れの場合にも一般に Acidosis では尿中酸排泄が増し、Alkalosis では減少すると考えられる。一方、1931年 A. Donaggio によつて発見された尿又は脳脊髄液による色素凝集阻止反応は、Donaggio 反応としてその後研究され、Jetzler (1938)¹⁹⁾、Rendel (1939)²⁰⁾、佐藤(1941)²¹⁾、斎藤(1941)²²⁾、平和(1943)²³⁾、佐藤(1943)²⁴⁾、山添(1949)²⁵⁾、下川等(1952)²⁶⁾、桜井(1953)²⁷⁾等によつて、筋作

業により Donaggio 反応値が増加することが確かめられた。就中、下川 (1953)²⁸⁾、下川等 (1955)²⁹⁾ は、筋作業による Donaggio 反応値の増加は、塩化アンモン投与による代謝性 Acidosis で一層増加し、 NaHCO_3 投与による Alkalosis では抑制されることを報告し、体液酸塩基平衡の変動が反応陽性物質たる尿 Mucoprotein に対する腎臓の透過性に大きな影響を及ぼすことを推論した。

以上の如き、筋作業時その他の酸塩基平衡の変動に際しての尿成分の変化、Donaggio 反応値の変動についての研究は、個々にその変化を検討したものが多

く、体液酸塩基平衡の変動を同時に人体について測定した実験は少ない。著者は、人体について筋作業の他、代謝性、呼吸性 Acidosis の場合、生体内新陳代謝の変動に対応する腎臓機能の変動を比較する目的を以つて、体液酸塩基平衡の変動を検すると同時に、尿中酸排泄、Donaggio 反応 (以上D反応と略す)、各種尿性状の変化を観察比較した。又、各種 Acidosis が、如何に、腎臓の尿 Mucoprotein の排泄、ひいては尿蛋白質の出現に影響するかを知ろうとして、この実験を行った。

II 実験方法

全実験を通じ、被検者には教室勤務の健康成年男子 3 人 (27~31歳) があつた。

実験当日は、朝食をひかえお茶を禁じた。又実験終了まで、水分・食事を摂らぬことにした。

実験は概ね午前 9 時より始め、被検者は椅子に坐つて安静にし、午前10時より対照の尿をとつた。対照は最短 1 時間観察し、午前11時より何れの実験も行うこととした。

排尿は随意的排尿により、出来るだけ完全にしようにつとめた。尿はすべて流動パラフィン下に採つた。

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) 塩化アンモン服用による代謝性 Acidosis
- 3) CO_2 を 4.2~6.0% 含有する 空気呼吸による呼吸性 Acidosis

血液の pH 測定は齋藤・本田³⁰⁾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管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。

尿の pH は、実験終了後ガラス電極法により測定した。

尿からの酸排泄は 2 つの形で行われる。1 つは遊離酸として、他は Ammonia 化合物としてであり、前者は尿滴定酸度から求められる。

尿滴定酸度は、尿 1~5cc を 0.1 N NaOH にて滴定し、変化する pH をガラス電極法により測定し、pH 7.40 に至るまでに要した 0.1 N NaOH 量を求めた。尿 pH が 7.0 以上の場合は、滴定を流動パラフィン下で行うようにした。

尿 NH_4 量は、Folin-Wu の Nessler 化法により、光電比色計を用いて測定した³¹⁾。総酸度は、尿滴定酸度と尿 NH_4 量との和である。

D 反応は、D 反応標準法 中山改良法³²⁾を一部改良した下川・荻野法³³⁾により測定した。本法によつて得られる値は標準法の値の $\frac{1}{2}$ に当る。

III 実験成績並びに考按

a) 水摂取の酸塩基平衡に及ぼす影響

水摂取による利尿が尿量、尿 pH 及び単位時間に排泄される遊離酸 (滴定酸度)、 NH_4 、総酸度に及ぼす影響を観察し、他の実験の対照とした。

水摂取前60分以上安静にして対照尿を採り、次いで水 300cc を摂取し、以後30分おきに 180 分まで採尿、観察した。その成績は第 1 表となる。対照値を基準として実験経過中の増減の平均を図示すれば第 1 図とな

る。(以後第 7 図までこれと同様の増減曲線である。)

尿量；水摂取後30~60分より増加し始め、60~90分で最大となり、以後漸減して120~150分で略々旧に復する。

尿 pH；水摂取後 30 分以内に、利尿出現に先立つて pH は上昇し始め、利尿に略々平行して尿酸度減少し、利尿の消失と共に尿反応も旧に復した。初期を除いてその変動経過は尿量のそれと近似している。

第1表 水分投与実験

	時 間	尿 量		滴定酸度		NH ₄		総酸度		pH	
		cc/min		μEq		μEq		μEq			
I 60分にて 水 300cc 被 検 者 O	0- 60	1.92	△	15.0	△	37.0	△	52.0	△	6.37	△
	60- 90	1.76	-0.16	2.5	-12.5	33.0	- 4.0	35.5	-16.5	7.08	0.71
	90-120	8.08	6.16	15.1	0.1	61.0	24.0	76.1	24.1	6.88	0.51
	120-150	6.50	4.58	14.3	- 0.7	40.0	3.0	54.3	2.3	6.45	0.08
	150-180	4.77	2.85	8.6	- 6.4	38.0	1.0	46.6	- 5.4	6.41	0.04
	180-210	1.93	0.01	11.9	- 3.1	36.0	- 1.0	47.9	- 4.1	6.32	-0.05
II 30分にて 水 300cc 被 検 者 O	0- 30	2.74		9.6		43.7		53.3		6.38	
	30- 60	1.62	-1.12	3.0	- 6.6	38.3	- 5.4	41.3	-12.0	6.97	0.59
	60- 90	7.25	4.51	7.7	- 1.9	66.1	22.4	73.8	20.5	6.83	0.45
	90-120	6.00	3.26	6.6	- 3.0	49.8	6.1	56.4	3.1	6.87	0.49
	120-150	3.44	0.70	5.5	- 4.1	33.9	- 9.8	39.4	-13.9	6.77	0.39
	150-180	3.40	0.66	11.5	1.9	47.4	3.7	58.9	5.6	6.83	0.15
180-210	3.03	0.29	12.7	3.1	39.3	- 4.4	52.0	- 1.3	6.42	0.06	
III 30分にて 水 300cc 被 検 者 H	0- 30	1.30		6.5		31.0		37.5		6.46	
	30- 60	1.67	0.37	10.7	4.2	45.6	14.6	56.3	18.8	6.18	-0.28
	60- 90	4.87	3.57	10.2	3.7	56.5	25.5	66.7	29.2	6.36	-0.10
	90-120	4.74	3.44	6.2	- 0.3	28.9	- 2.1	35.1	- 2.4	6.57	0.11
	120-150	1.93	0.63	11.4	4.9	43.6	12.6	55.0	17.5	5.96	-0.50
	150-180	1.96	0.66	15.2	8.7	49.0	18.0	64.2	26.7	5.80	-0.66
180-210	1.85	0.55	12.5	6.0	44.0	13.0	56.5	19.0	6.05	-0.41	
IV 30分にて 水 300cc 被 検 者 O	0- 30	0.83		8.2		37.5		45.7		5.76	
	30- 60	2.64	1.81	8.2	0	49.0	11.5	57.2	11.5	6.50	0.74
	60- 90	5.27	4.44	5.6	- 2.6	44.4	6.9	50.0	4.3	6.78	1.02
	90-120	11.36	10.53	9.1	0.9	46.3	8.8	55.4	9.7	6.82	1.06
	120-150	9.56	8.73	8.6	0.4	40.4	2.9	49.0	3.3	6.72	0.95
	150-180	1.97	1.14	4.8	- 3.4	25.4	-12.1	30.2	-15.5	6.47	0.71
180-210	3.10	2.27	10.2	2.0	37.9	0.4	48.1	2.4	6.44	0.68	

尿の分時遊離酸排泄量；利尿出現に先立つて一過性の減少を示す外、尿量の変化とは殆んど関係なく略々一定値を維持した。

尿の分時 NH₄ 排泄量；尿量と略々平行して著明に増加し、尿量の減少に稍々先立つて低下する。尿量の増加に際して尿 pH は上昇し、尿 pH の上昇は尿の NH₄ 濃度を低下させる要因として働くが、同時におこる尿量の増加によつて NH₄ 排泄量は著しい増加を来たすものである。

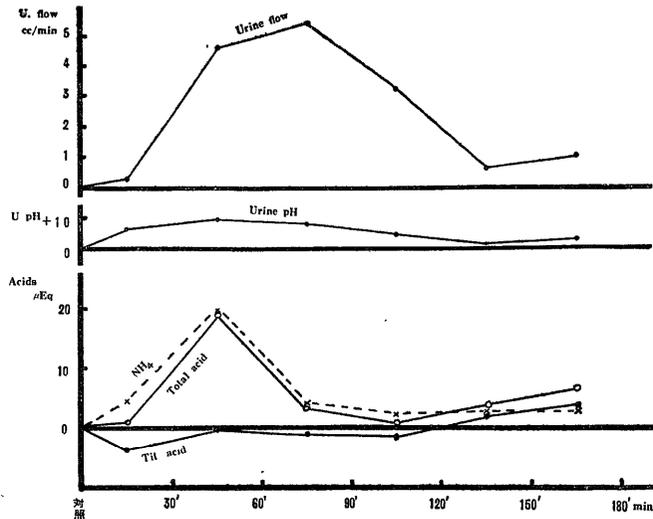
尿の分時総酸排泄量；分時遊離酸排泄量と分時 NH₄ 排泄量の和である。前者の変化は後者の増加にくらべて軽微であるから、分時総酸排泄量の増減は分

時 NH₄ 排泄量と略々平行する。即ち水利尿の際には、体内より腎臓を通して H⁺ の過剰排泄が認められる訳である。換言すれば、利尿即ち尿細管における水の再吸収の減退（即ち尿細管内の流速の増加）に伴つて H⁺ の分泌と、Pitts 等の説に依れば NH₃ の尿細管細胞から尿細管腔への拡散が促進されると考えられる。

b) 筋作業の影響

筋作業は自転車 Ergometer を用いて行つた。作業強度は強度 (1054 kgm/min 8分間)、中等度 (955.4 kgm/min 5~7分間) 及び軽度 (562~722 kgm/min) の3段級に分ち、後者は60分間継続し、作業前より作業後にわたる全経過において血液 pH, 尿の諸性状及

第1図 水分大量投与実験



第2表 最強度筋作業実験

	時間	尿量		滴定酸度		NH ₄		総酸度		pH	
		cc/min	Δ	μEq	Δ	μEq	Δ	μEq	Δ		Δ
I 60分にて 1053.75kg m/min 8分 被検者 O	30~60	2.03		3.6		35.6		39.2		7.30	
	75	1.34	-0.69	14.0	10.4	59.3	23.7	73.3	34.1	6.16	-1.14
	90	1.20	-0.83	25.1	21.5	58.5	22.9	83.6	44.4	5.14	-2.16
	105	1.34	-0.69	13.8	10.3	39.0	3.4	52.8	13.7	6.04	-1.26
	135	1.70	-0.33	6.9	3.3	33.6	-2.0	40.5	1.3	6.48	-0.82
	165	2.63	0.60	1.7	-1.9	47.8	12.2	49.5	10.3	7.27	-0.03
II 60分にて 1053.75kg m/min 8分 被検者 O	30~60	4.56		6.4		38.0		44.4		7.15	
	75	2.74	-1.82	12.0	5.6	49.5	11.5	61.5	17.1	6.20	-0.95
	90	1.07	-3.49	33.0	26.6	50.8	12.8	83.8	39.4	5.18	-1.97
	105	1.40	-3.16	12.0	5.6	47.0	9.0	59.0	14.6	5.45	-1.70
	135	1.80	-2.76	5.0	-1.4	38.0	0	43.0	-1.4	6.50	-0.65
	165	3.00	-1.56	3.6	-2.8	37.0	-1.0	40.6	-3.8	7.10	-0.05
III 60分にて 1053.75kg m/min 8分 被検者 O	30~60	0.70				12.0				7.50	
	75	0.53	-0.17	8.0		28.0	16.0			6.80	-0.70
	90	0.47	-0.23	16.2		55.0	43.0			5.18	-2.32
	105	0.60	-0.10	8.4		40.3	28.3			5.30	-2.20
	135	0.80	0.10	3.0		15.0	3.0			6.94	-0.56
	165	0.93	0.23	/		11.0	-1.0			7.52	+0.02

IV	30~60	2.00	△	0.3	△	25.0	△	25.3	△	7.36	△
	60分にて 1053.75kg m/min 8分	75	1.26	-0.74	12.9	12.6	28.6	3.6	41.5	16.2	6.78
被検者 O	90	0.87	-1.13	14.2	13.9	47.2	22.2	61.4	36.1	5.14	-2.22
	105	1.07	-0.93	4.9	4.6	28.6	3.6	33.5	8.2	5.85	-1.51
	135	1.77	-0.23	1.9	1.6	13.2	-11.8	15.1	-10.2	6.88	-0.48
	165	3.30	1.30	1.1	0.8	15.0	-10.0	16.1	-9.2	7.02	-0.34
V	30~60	2.07		0.6		27.8		28.4		7.20	
	60分にて 1053kg m/min 8分	75	2.40	0.33	1.6	1.0	47.8	20.0	49.4	21.0	6.12
被検者 S	90	2.86	0.79	36.0	35.4	60.7	32.9	96.7	68.3	4.92	-2.28
	105	1.20	-0.87	11.0	10.4	39.2	11.4	50.2	21.8	5.36	-1.84
	135	1.43	-0.64	1.4	0.8	16.3	-11.5	17.7	-10.7	6.48	-0.72
	165	4.33	2.26	3.5	2.9	38.3	10.5	41.8	13.4	6.58	-0.62

第3表 中等度短時間作業実験

	時 間	尿 量		滴定酸度		NH ₄		総酸度		Donaggio 反 応		尿 pH		血液 pH	
		cc/min		μEq		μEq		μEq							
I 7.0kg m/min 5分 被検者 O	0-30			3.4		34.0		37.4							
	30-60	2.6		3.6		47.0		50.6		1.0		6.91		7.41	
	60-75	1.8	-0.8	15.5	11.9	53.7	6.7	69.2	18.6	1.8	0.8	5.58	-1.33	7.34	-0.07
	75-90	1.3	-1.3	20.4	16.8	54.4	7.4	74.8	24.2	1.9	0.9	5.08	-1.83	7.40	-0.01
	90-105	2.0	-0.6	8.9	5.3	41.2	-5.8	50.1	-0.5	0.8	-0.2	5.74	-1.17	7.40	-0.01
	105-135	2.8	0.2	2.9	-0.7	41.4	-5.6	44.3	-6.3	1.1	0.1	6.86	-0.05	7.42	0.01
II 6.8kg m/min 7分 被検者 S	0-30			2.5		23.6		26.1							
	30-60	1.9		3.1		40.0		43.1		1.2		6.86		74.0	
	60-75	1.6	-0.3	12.8	9.7	54.3	14.3	67.1	24.0	3.0	1.8	6.01	-0.85	7.32	-0.08
	75-90	1.9		14.5	11.4	41.2	1.2	55.7	12.6	1.7	0.5	5.73	-1.13	7.40	0
	90-105	2.8	0.9	6.9	3.8	36.0	-4.0	42.9	-0.2	0.8	-0.4	6.51	-0.35	7.39	-0.01
	105-135	2.2	0.3	4.2	1.1	29.3	-10.7	33.5	-9.6	0.8	-0.4	6.79	-0.07	7.40	0
III 7.5kg m/min 7分 被検者 O	0-30			0.5		31.0		31.5							
	30-60	1.5		0.4		33.8		34.2		1.3		7.28		7.40	
	60-75	1.1	-0.4	11.5	11.1	61.2	27.4	72.7	38.5	2.0	0.7	6.28	-1.00	7.32	-0.08
	75-90	1.1	-0.4	20.6	20.2	49.9	16.1	70.5	36.3	3.2	1.9	5.35	-1.93	7.39	-0.01
	90-105	1.6	0.1	11.6	11.2	48.5	14.7	60.1	25.9	0.9	-0.4	5.64	-1.64	7.40	0
	105-135	1.4	-0.1	3.8	3.4	32.8	-1.0	36.6	2.4	0.5	-0.8	6.64	-0.64	7.40	0
135-165	2.6	1.1	2.1	1.7	35.9	2.1	38.0	3.8	1.8	0.5	7.17	-0.11	7.40	0	

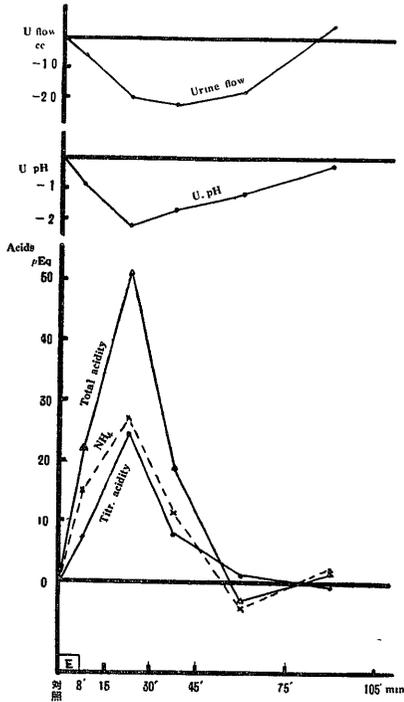
び尿D 反応値を観察した。実験成績は強度作業に関するものは第2表及び第2図、中等度作業のは第3表と第3図、軽度作業のは第4表と第4図に示した。これ

らの実験成績には共通した所が少なくないので、3者の実験所見を比較摘要すれば次のようになる。

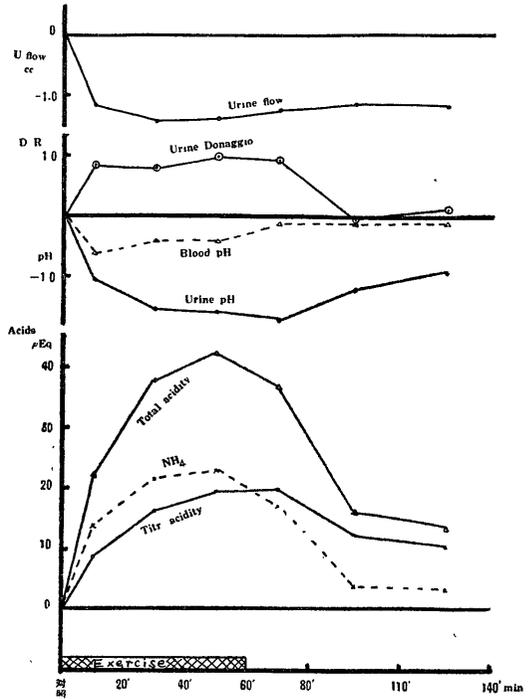
第4表 軽度長時間作業実験

	時 間	尿 量		滴定酸度		NH ₄		総 酸 度		DonaggioR	尿 pH		血液 pH		
		cc/min	△	μEq	△	μEq	△	μEq	△			△		△	
I 722.5kg m/min 60分 被 験 者 O	0-30	0.73		6.6		23.6		30.2							
	30-60	0.83		1.4		22.0		23.4		1.1		7.18		7.39	
	60-80	0.70	-0.13	7.2	5.8	42.8	20.8	50.0	26.6	1.4	0.3	6.48	-0.70	7.32	-0.07
	80-100	0.76	-0.07	14.8	13.4	45.7	23.7	60.5	37.1	1.4	0.3	5.51	-1.67	7.34	-0.05
	100-120	0.95	0.12	18.8	17.4	46.1	24.1	64.9	41.5	1.3	0.2	5.49	-1.69	7.36	-0.05
	120-140	1.10	0.27	16.9	15.5	39.3	17.3	56.2	32.8	1.2	0.1	5.63	-1.55	7.37	-0.02
	140-170	1.16	0.33	10.5	9.1	24.2	2.2	34.7	11.3	0.8	-0.3	6.54	-0.64	7.38	-0.01
170-200	0.90	0.07	10.6	9.2	27.8	5.8	38.4	15.0	1.2	0.1	6.47	-0.71	7.38	-0.01	
II 722.5kg m/min 60分 被 験 者 O	0-30	1.70		4.6		24.7									
	30-60	2.71		0.5		24.2		24.7		1.5		7.33		7.40	
	60-80	1.57	-1.14	9.4	8.9	43.6	19.4	53.0	28.3	1.4	-0.1	6.31	-0.92	7.36	-0.04
	80-100	1.22	-1.49	18.1	17.6	51.0	26.8	69.1	44.4	2.3	0.8	5.67	-1.56	7.38	-0.02
	100-120	1.25	-1.46	23.4	22.9	47.2	23.0	70.6	45.9	2.2	0.7	5.61	-1.62	7.35	-0.05
	120-140	1.30	-1.41	22.8	22.3	39.3	15.1	62.1	37.4	2.2	0.7	5.48	-1.75	7.38	-0.02
	140-170	1.23	-1.47	11.6	11.1	25.0	0.8	36.6	11.9	1.2	-0.3	6.18	-1.05	7.39	-0.01
170-200	0.96	-1.75	10.2	9.7	2.78	3.6	38.0	13.3	1.8	0.3	6.31	-0.92	7.39	-0.01	
III 562kg m/min 60分 被 験 者 O	0-30	2.20		6.2		30.0		36.2							
	30-70	5.06		8.8		30.6		39.4		1.6		6.54		7.39	
	70-90	1.20	-3.86	17.2	8.4	31.4	0.8	48.6	9.2	3.7	2.1	5.41	-1.13	7.29	-0.10
	90-110	0.70	-4.36	22.1	13.3	36.4	5.8	58.5	19.1	2.5	0.9	5.31	-1.23	7.34	-0.05
	110-130	0.50	-4.56	18.9	10.1	41.0	10.4	59.9	20.5	1.6		5.29	-1.25	7.31	-0.08
	130-150	0.83	-4.23	19.4	10.6	35.9	5.3	55.3	15.9	3.2	1.6	5.21	-1.33	7.40	0.01
	150-180	1.06	-4.00	13.4	4.6	26.4	-4.2	39.8	0.4	1.4	-0.2	5.30	-1.24	7.39	0
180-210	1.30	-3.76	10.3	1.5	19.3	-11.3	29.6	-9.8	0.8	-0.8	5.43	-1.11	7.39	0	
IV 632kg m/min 60分 被 験 者 O	0-30	0.76		3.6		20.0									
	30-60	1.15		5.2		25.8		26.3		1.4		7.01		7.40	
	60-80	0.65	-0.50	12.3	7.1	40.0	14.2	52.3	26.0	2.4	1.0	5.49	-1.52	7.37	-0.03
	80-100	0.58	-0.57	21.9	16.7	53.5	27.7	75.4	49.1	2.8	1.4	5.51	-1.50	7.38	-0.02
	100-120	0.70	-0.45	27.3	22.1	56.3	30.5	83.6	57.3	3.3	1.9	5.42	-1.59	7.38	-0.02
	120-140	0.75	-0.40	27.5	22.3	50.0	24.2	77.5	51.2	2.8	1.4	4.97	-2.04	7.38	-0.02
	140-170	0.93	-0.22	18.6	13.4	32.7	6.9	51.3	25.0	1.5	0.1	5.65	-1.36	7.39	-0.01
170-200	0.96	-0.19	15.6	10.4	20.7	-5.1	36.3	10.0	1.6	0.2	6.60	-0.41	7.40	0	
V 722.5kg m/min 60分 被 験 者 O	0-30	0.92		1.3		34.0		35.3							
	30-60	1.18		1.2		23.0		24.2		1.2		7.23		7.42	
	60-80	0.88	-0.30	9.2	8.0	47.0	24.0	56.2	32.0	2.1	0.9	6.23	-1.00	7.37	-0.05
	80-100	0.62	-0.56	17.3	16.1	47.0	24.0	64.3	40.1	1.8	0.6	5.49	-1.74	7.38	-0.04
	100-120	0.65	-0.53	21.3	20.1	50.0	27.0	71.3	47.1	3.5	2.3	5.44	-1.79	7.40	-0.02
	120-140	0.80	-0.38	24.9	23.7	47.0	24.0	71.4	47.7	2.1	0.9	5.32	-1.91	7.41	-0.01
	140-170	0.93	-0.25	19.6	18.4	36.4	13.4	56.0	31.8	1.6	0.4	5.53	-1.70	7.41	-0.01
170-200	0.93	-0.25	17.3	16.1	35.7	12.7	53.0	28.8	1.9	0.7	5.79	-1.44	7.41	-0.01	

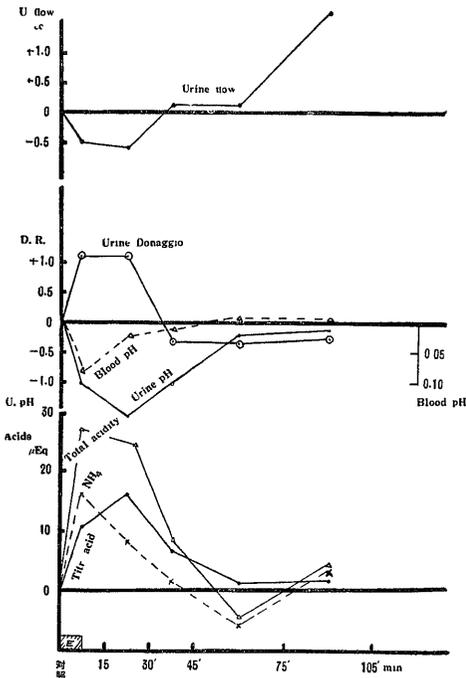
第2図 強度筋作業実験



第4図 軽度長時間筋作業実験



第3図 中等度筋作業実験



血液 pH ; 中等度及び軽度作業の場合測定した。作業により前者では -0.08 pH, 後者では -0.05 pH 程度低下し, 作業終了後 10~20 分で略々正常値に回復する。

尿量 ; 何れの場合にも作業開始と共に著しく減少する。作業強度の大なるほど減少度も一般に大きい。尿量が正常に回復するに要する時間は強度作業では 90 分, 中等度作業では 60 分であるが, 軽度作業は作業時間が長かつたためか 75 分目においても回復の徴を示さない。

尿 pH ; 何れの作業でも低下する。強度及び中等度の作業では作業中或いは作業直後よりも 20~30 分位経過したとき最低値を示す。後徐々に回復し強度作業では 90 分後, 中等度作業では 60 分後に対照値まで回復する。長時間の軽作業では作業時僅か乍ら漸減し, 作業終了直後に最低値となる。回復は徐々に進むが完了するには長い時間を要する。尿 pH 減少の度合いは作業強度と略々平行する。

酸排泄量 ;

分時遊離酸排泄量 ; 何れの作業でも増加する。短時間作業ではその極大値は作業終了より稍々遅れて現

われ、後減少して60～90分で対照値に戻る。極大値の位置が作業時より稍々おくれるのは、活動時の筋で生成される酸性物質が血液中に拡散出現するのに時間を要することが一因と考えられる。長時間の軽作業では作業中漸増し、作業終了直後に最大値を示し、後漸減する。最大の排泄増加値は強度作業では $50 \mu\text{Eq}/\text{min}$ 、軽度長時間作業で $42 \mu\text{Eq}/\text{min}$ に達する。分時遊離

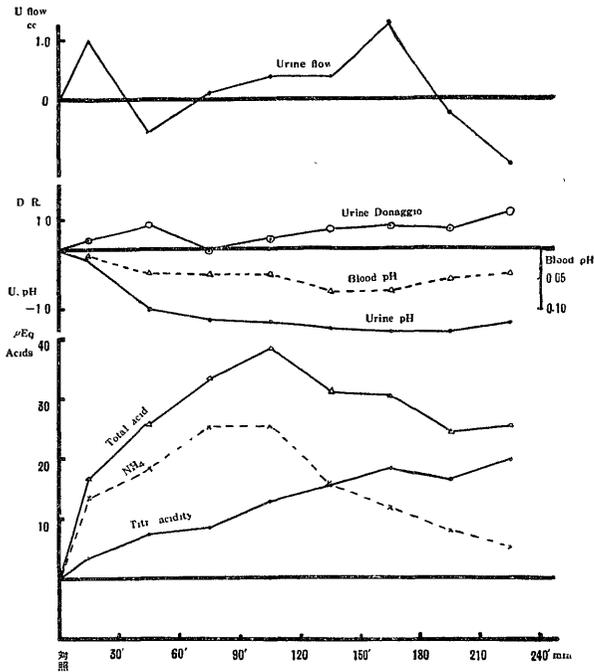
酸排泄の増減曲線は尿 pH のそれと変化の向きは逆であるが、両者の経過は酷似している。

分時 Ammonia 排泄量；筋作業により増大する。この作業時における増減経過は先の遊離酸排泄のそれと大分趣きを異にしている。Ammonia 排泄の増大は遊離酸排泄のそれより早く現われ、中等度短時間作業では作業中に最大値に達し、作業終了と共に急激に

第5表 NH_4Cl 服用 Acidosis

	時間	尿量		滴定酸度		NH_4		総酸度		DonaggioR		尿 pH	血液 pH		
		分	cc/min	μEq	μEq	μEq	μEq	μEq	μEq						
I 60分にて 塩化アン モン 8gr 被検者 O	0—30	1.23		5.7		48.3		54.0		1.23		6.62			
	60	2.36		2.7		52.3		55.0		1.32		6.94	7.42		
	90	5.33	2.97	8.7	6.0	86.3	34.0	95.0	40.0	1.80	0.48	6.75	-0.19	7.42	0
	120	0.96	-1.40	16.1	13.4	55.3	3.0	71.4	16.4	1.67	0.35	4.98	-1.96	7.39	-0.03
	150	1.90	-0.46	15.2	12.5	58.3	6.0	73.5	18.5	1.60	0.28	5.62	-1.32	7.40	-0.02
	180	2.06	-0.30	18.6	15.9	65.7	13.4	84.3	29.3	1.62	0.30	5.70	-1.24	7.40	-0.02
	210	3.10	0.74	20.7	18.0	65.0	12.7	85.7	30.7	1.22	-0.10	5.46	-1.48	7.34	-0.08
	240	3.83	1.47	28.1	25.4	60.2	7.9	88.3	33.3	1.40	0.08	5.45	-1.49	7.34	-0.08
	270	1.10	-1.26	16.6	13.9	55.2	2.9	71.8	16.8	1.24	-0.08	5.46	-1.48	7.39	-0.03
	300	2.36		0.22	19.4	62.6	10.3	84.7	29.7	1.34	0.02	5.75	-1.19	7.40	-0.02
II 90分にて 塩化アン モン 5gr 被検者 O	0—30	2.00		2.2		59.3		61.5		0.92		6.94			
	60	4.20		5.5		80.7		86.2		0.75		6.78	7.45		
	90	4.20		3.5		67.2		70.7		0.68		6.97	7.45	0	
	120	3.93	-0.27	6.7	3.2	80.0	12.8	86.7	16.0	0.85	0.17	6.98	0.01	7.40	-0.05
	150	1.83	-2.37	6.0	2.5	89.3	22.1	95.3	24.6	0.95	0.27	6.43	-0.54	7.39	-0.06
	180	1.96	-2.24	7.2	3.7	104.0	36.8	111.2	40.5	0.38	-0.30	5.96	-1.01	7.39	-0.06
	210	2.73	-1.47	16.9	13.4	97.2	30.0	114.1	43.4	0.88	0.20	5.76	-1.21	7.39	-0.06
	240	2.83	-1.37	17.9	14.4	75.8	8.6	93.7	23.0	1.27	0.59	5.69	-1.23	7.39	-0.06
	270	2.50	-1.70	19.0	15.5	76.5	9.3	95.5	24.8	0.64	-0.04	5.62	-1.35	7.39	-0.06
	300	2.73	-1.47	20.0	16.5	73.0	5.8	93.0	22.3	0.79	0.11	5.75	-1.22	7.39	-0.06
330	1.90	-2.30	24.0	20.5	68.0	0.8	92.0	21.3	1.86	1.18	5.68	-1.29			
III 90分にて 塩化アン モン 7gr 被検者 S	0—30	1.38		4.9		33.0		37.9		1.18		6.46			
	60	1.37		1.8		30.7		32.5		1.50		6.87	7.43		
	90	1.87		1.5		41.8		43.3		0.97		7.18	7.39	-0.04	
	120	2.18	0.31	2.1	0.6	35.7	-6.1	37.8	-5.5	0.70	-0.27	7.03	-0.15	7.40	-0.03
	150	4.03	2.16	7.3	5.8	72.8	31.0	80.1	36.8	1.56	0.59	6.46	-0.72	7.39	-0.04
												5.98	-1.20	7.39	-0.04
	210	4.85	2.98	11.2	9.7	75.0	33.2	86.2	42.9	0.96	-0.01	5.98	-1.20	7.37	-0.06
	240	5.07	3.20	16.2	14.7	67.4	25.6	83.6	40.3	1.48	0.51	5.95	-1.23	7.37	-0.06
	270	5.73	3.86	16.7	15.2	60.6	18.8	77.3	34.0	2.03	1.06	5.92	-1.26	7.38	-0.05
	300	3.93	2.06	20.6	19.1	57.6	15.8	78.2	34.9	1.90	0.93	5.75	-1.43	/	/

第5図 塩化アンモン投与実験



減少し、60分目頃一度対照値以下に下つて (Negative phase) 後、対照値に回復する。その増減の経過は遊離酸排泄の増減より先行する。

Ammonia の排泄量は、今日の学説 (Pitts その他) では、尿量の一定なる場合には尿の酸度によつて決定されるといわれているが、吾々の中等度作業の場合、作業後において尿量及び尿 pH は略々対照値に回復しているに拘らず、Ammonia の排泄は著しく減少している。これは未知の要因が Ammonia 排泄を調節しているためと考えられる。

長時間の軽筋作業の場合も上と同様作業中は Ammonia 排泄量漸増し、作業終了と共に急に減少し、遊離酸排泄の増減曲線に比して経過及び極大の位置は前方にずれている。作業後の Negative phase は見られないが、尿量と尿 pH の回復は極めて緩徐であるに反し、Ammonia 排泄を支配する未知の要因の存在が暗示されている。

総酸排泄量； 遊離酸と Ammonia の排泄量の和である。作業により遊離酸と Ammonia の排泄が同程度に増して総酸排泄量は増大し、作業終了後漸減し、短時間作業では60分前後に Negative phase を示して後対照値に回復する。長時間の軽作業では作業終了後の

回復はおそく、60分後においてもなお高い値を保っている。

Donaggio 反応； 中等度及び軽度作業時に測定し、何れも作業時に増加、終了と共に比較的急速に対照値に回復した。その増減の経過は血液 pH の変動経過とその向きは逆であるが、比較的類似している。

c) 塩化アンモン服用の影響

被検者は椅子に坐つて60分間安静を保ち、その後半30分において全項目の観察を行い、その値を対照値とした。

次いで塩化アンモン 5~8gr を水 200cc と共に服用し、以後30分毎に採血、採尿、四時間に亘つて観察した。実験中は飲食を禁じた。成績は第5表及び第5図に示す。

血液 pH； 塩化アンモン服用後血液 pH は漸次低下し、120~180分で最低値 (-0.07 pH) に達した後徐々に回復するが、4時間後にもなお Acidosis (-0.04pH) の状態が残る。

尿量； 塩化アンモンと共に水 200cc を服用したが、その後の尿量の変動は不定で一定の傾向は認め難い。

尿 pH； 塩化アンモン服用後、尿 pH は徐々に低下し、75分で -1.2 pH と減少し、以後4時間まで略々一定の値を持続する。血液 pH のような回復傾向は全経過中認められなかつた。

酸排泄量

分時遊離酸排泄量； 塩化アンモン服用後増加の一途をたどり4時間に至る。本実験では、筋作業実験の場合と異なり、遊離酸排泄量の経過と尿 pH の増減経過の間に同時性は認め難い。

分時 Ammonia 排泄量； 始め急速に増加するが、75分で最大値に達し、105分以後は減少する。その経過には尿量、尿 pH のそれとの間に関連性は認め難い。ことに105分以後に見られる Ammonia 排泄量の急激な減少に対して尿量はむしろ増加し、尿 pH はなお -1.0 pH 以上低下した状態にあるから、この Ammonia 排泄量の減少は今日行われている Ammonia 排泄機序に関する学説では説明し難い事実である。

総酸排泄量； 始め漸増し105分で最大値に達した後徐々に減少の傾向を示す。

Donaggio 反応； 全経過に亘つて軽度乍ら増加を示すが、他の Acidosis 実験の場合に比して増加の程

度は軽微である。

d) 呼吸性 Acidosis

被検者は椅子に坐つて、呼吸弁を介して、1000L 入大型 ゴム囊内に調製した CO₂ 混合空気 (4.2~6.0% CO₂) を呼吸し、その間及び後の血液 pH 及び尿性状を観察し、CO₂ 呼吸開始前の観測値を対照値としてそれらの変動に関し考察を加えた。本実験は実験条件及び測定項目により便宜上観測を2群に分つた。第1群

は比較的低濃度の CO₂ 加空気を40~55分呼吸した実験、第2群は比較的高濃度の CO₂ 加空気を25~30分間呼吸した実験である。第1群の成績は第6表及び第6図、第2群の成績は第7表、第7図に示した。CO₂ 加空気呼吸を行う期間は実験により若干相違しているが、これを図示する際には便宜上一定として処理し、CO₂ 加空気呼吸が測定諸項目に及ぼす影響の概要を把握するのに好都合ならしめた。

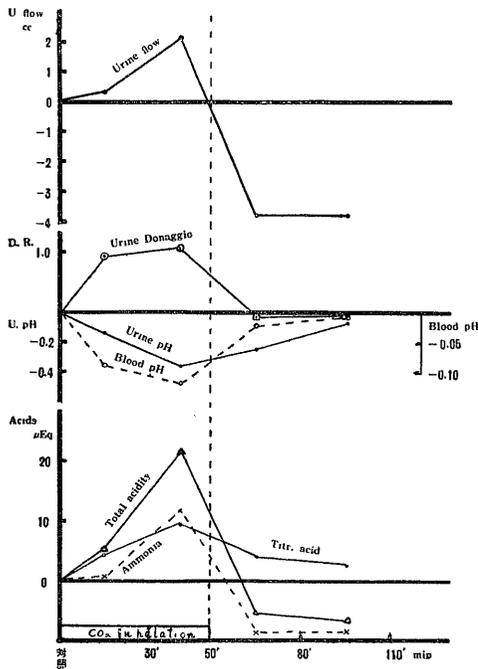
第6表 低濃度 CO₂ 吸入実験

	時間	尿量		滴定酸度		NH ₄		総酸度		DonaggioR	尿 pH		液血 pH	
		分	cc/min	μEq	μEq	μEq	μEq	μEq	μEq					
I CO ₂ 吸入 5.85% 120分— 160分 被検者 O	9—120	5.44		5.1		21.3		26.4		1.66		6.99		
	120—150	11.70	6.26	14.2	9.1	50.1	28.8	64.3	38.0	2.91	1.25	6.78	-0.21	
	150—160	14.30	8.86	23.5	18.4	51.1	29.8	74.6	48.2	5.30	3.64	6.56	-0.43	
	160—190	3.16	-2.28	13.6	8.5	27.2	5.9	40.8	14.4	1.56	-0.10	6.48	-0.51	
	190—220	2.56	-2.88	10.8	5.7	26.6	5.3	37.4	11.0	3.10	1.44	6.76	-0.23	
	220—250	3.03	-2.41	6.7	1.6	31.4	10.1	38.1	11.7	2.19	0.53	6.84	-0.15	
II CO ₂ 吸入 5.42% 90分— 130分 被検者 O	60—90	5.00		9.3		33.9		43.2		2.16		6.56		7.42
	90—110	5.05	0.05	16.1	6.8	34.2	0.3	50.3	7.1	2.68	0.52	6.43	-0.13	7.22 -0.20
	110—130	6.15	1.15	18.8	9.5	51.3	17.4	70.1	26.9	2.21	0.05	6.41	-0.15	7.22 -0.20
	130—160	2.20	-2.80	12.7	3.4	28.8	5.1	41.5	1.7	1.34	-0.82	6.44	-0.12	7.40 -0.02
	160—190	1.93	-3.07	7.7	1.6	28.3	5.6	36.0	7.2	1.04	-1.12	6.74	0.18	7.41 -0.01
III CO ₂ 吸入 4.2% 90分— 145分 被検者 O	60—90	3.96		2.0		34.2		36.2		2.22		7.23		7.41
	90—110	4.92	0.96	5.3	3.3	33.8	0.4	39.1	2.9	3.05	0.83	6.99	-0.24	7.40 -0.01
	110—130	7.40	3.44	6.8	4.8	37.1	2.9	43.9	7.7	2.53	0.31	6.82	-0.41	7.36 -0.05
	130—145	7.14	3.18	9.1	7.1	29.2	5.0	38.3	2.1	3.36	1.14	6.71	-0.52	7.36 -0.05
	145—175	3.40	-0.56	14.0	12.0	26.9	7.3	40.9	4.7	3.65	1.43	6.75	-0.48	7.42 0.01
	175—205	3.50	-0.46	14.7	12.7	32.2	2.0	46.9	10.7	3.25	1.03	6.93	-0.30	7.42 0.01
IV CO ₂ 吸入 4.8% 90分— 140分 被検者 O	60—90	10.60		7.0		49.2		56.2		3.25		6.89		7.39
	90—110	8.25	-2.35	10.9	3.9	42.8	6.4	53.7	2.5	4.45	1.20	6.65	-0.24	7.34 -0.05
	110—140	6.53	-4.07	10.3	3.3	46.7	2.5	57.0	0.8	3.40	0.15	6.43	-0.46	7.34 -0.05
	140—170	1.83	-8.77	5.1	1.9	27.5	21.7	32.6	23.6	1.86	-1.39	6.74	-0.15	7.38 -0.01
	170—200	2.06	-8.54	5.0	2.0	25.8	23.4	30.8	25.4	1.68	-1.57	6.78	-0.11	7.40 0.01
V CO ₂ 吸入 4.9% 60分— 130分 被検者 O	60—90	7.00		4.4		46.4		50.8		2.53		7.01		7.38
	90—110	3.80	-3.20	3.1	1.3	27.1	19.3	30.2	20.6	3.45	0.92	7.16	0.15	7.20 -0.18
	110—130	8.50	1.50	16.1	11.7	62.0	15.6	78.1	27.3	3.16	0.63	6.71	-0.30	7.20 -0.18
	130—160	2.76	-4.24	2.8	1.6	26.7	19.7	29.5	21.3	2.90	0.37	7.06	0.05	7.34 -0.04
	160—190	2.63	-4.37	3.2	1.2	25.7	20.7	28.9	21.9	2.42	-0.11	7.12	0.11	7.36 -0.02

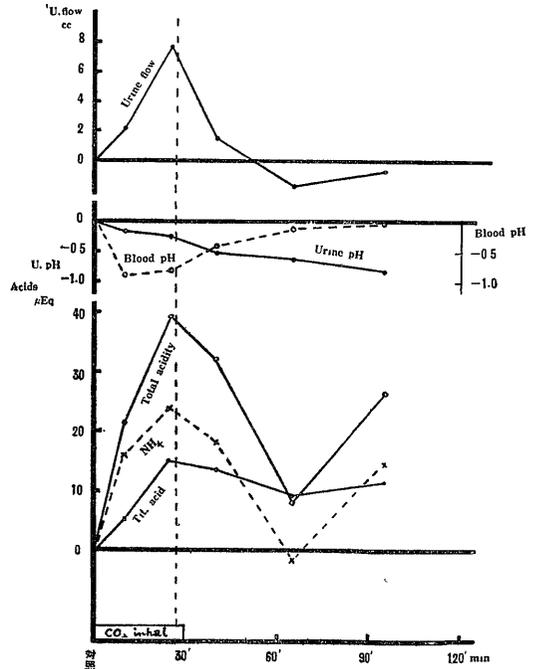
第7表 CO₂ 吸入 (高濃度) 実験

	時 間	尿 量		滴定酸度		NH ₄		総酸度		尿 pH		血液 pH		
		分	cc/min	μEq	μEq	μEq	μEq	μEq	μEq	μEq				
I CO ₂ 吸入 6.03% 30分	30-60		5.41		6.5		44.4		50.9		6.76		7.42	
	60-80		5.65	0.24	13.6	7.1	48.4	4.0	62.0	11.1	6.62	-0.14	7.33	-0.09
	80-91		17.50	12.09	38.5	32.0	66.1	21.7	104.6	53.7	6.55	-0.21	7.35	-0.07
被 検 者 O	91-121		2.90	-2.50	33.1	26.6	62.1	17.7	95.2	44.3	6.16	-0.60	7.42	0
	121-151		1.46	-3.95	14.6	8.1	26.6	-17.8	41.2	-9.7	6.42	-0.34	7.41	-0.01
II CO ₂ 吸入 5.93% 26分	30-60		1.23		1.7		15.0		16.7		6.98		7.39	
	60-80		2.70	1.47	6.1	4.4	33.0	18.0	39.1	22.4	6.60	-0.38	7.29	-0.10
	80-86		5.85	4.62	8.5	6.8	45.0	30.0	53.5	36.8	6.52	-0.46	7.29	-0.10
被 検 者 O	86-106		5.00	3.77	9.5	7.8	40.0	25.0	49.5	32.8	6.35	-0.63	7.31	-0.08
	106-136		1.33	0.10	14.4	12.7	26.0	11.0	40.4	23.7	5.95	-1.03	7.39	0
	136-166		1.20	-0.03	16.0	14.3	36.5	21.5	52.5	35.8	5.87	-1.11	7.40	0.01
III CO ₂ 吸入 6.00% 25分	30-60		2.60		7.6		35.7		43.3		6.59		7.39	
	60-80		7.15	4.55	12.0	4.4	62.0	26.3	74.0	30.7	6.59	0	7.32	-0.07
	80-85		9.00	6.40	14.4	6.8	56.0	20.3	70.4	27.1	6.53	-0.06	7.31	-0.08
被 検 者 O	85-105		5.80	3.20	14.5	6.9	48.0	12.3	62.5	19.2	6.28	-0.31	7.34	-0.05
	105-135		1.40	-1.20	15.4	7.8	38.6	2.9	54.0	10.7	6.10	-0.49	7.38	-0.01
	135-165		1.23	-1.37	16.8	9.2	44.0	8.3	60.8	17.5	6.04	-0.55	7.39	0

第6図 低濃度 CO₂ 吸入実験



第7図 高濃度 CO₂ 吸入実験



血液 pH ; CO₂ 加空気呼吸を開始すると急速に低下し、その程度は第 1 群では -0.12 pH, 第 2 群では -0.09 pH に達する。CO₂ 呼吸を停止すると 20~30 分位で完全に回復する。一般に呼吸性 Acidosis は、その発現も消失も非常に早い。又屢々激しい頭痛を訴え、空気呼吸に移つても 30 分以上持続することが多かつた。

尿量 ; CO₂ 加空気呼吸時、ことにその末期には著しく増加する。空気呼吸に移ると急速に尿量減少し、対照値以下の低い値をとる時期ができる。第 1 群の実験ではこれが特に著明に現われている。(第 6 図)

尿 pH ; CO₂ 吸入中漸次低下し、空気呼吸に移つて後は第 1 群では漸次回復しているが、第 2 群では引きつづき低下している。前述の筋作業時や塩化アンモン服用時の代謝性 Acidosis の場合に比して、この場合の尿 pH の低下は Acidosis の割合に僅少である。その原因の一つは尿量の増加にあるものと思われる。

酸排泄量

分時遊離酸排泄量 ; CO₂ 加空気呼吸時には漸増し、空気呼吸に移ると漸減するが、測定時間中には対照値にまで戻っていない。その経過は尿 pH の増減曲線と略々平行している。これは第 7 表に示されるように体内における磷酸の動員によりその排泄の増大を来たすものと考えられ、ここに述べるような比較的短時間の CO₂ 呼吸でも単に体液の重碳酸緩衝系のみならず他の酸塩基平衡状態にも偏位を惹起しその回復に可成りの長時間を必要とすることが窺われる。

分時 Ammonia 排泄量 ; CO₂ 加空気呼吸と共に漸増し、空気呼吸に移ると共に急に減少し、第 1 群では著明な、第 2 群では小さな Negative phase を現わしている。Ammonia 排泄の経過は筋作業の場合と似ている。かかる Negative phase 出現の少なくとも一部の原因は尿量の減少にあると考えられる。

総酸排泄量 ; CO₂ 加空気呼吸により漸増し、空気呼吸に移れば急に減少し、時には Negative phase を示す。

Donaggio 反応 ; 第 1 群において測定した。CO₂ 加空気呼吸により増大し、空気呼吸に移ると急速に回復する。その増減の経過は、筋作業の場合と同様、血液 pH のそれと、増減の向きは反対であるが類似している。

e) 尿 Ammonia 排泄に関する所見

尿の Ammonia は腎尿管の Distal segment に

おいて、Glutamine その他若干の Amino 酸の Amid 基又は Amino 基より作られることは、今日の定説となつている。一方尿の Ammonia 排泄量を調節する要因として、以前は Acidosis がこれを増大し Alkalosis が抑制し、体内の塩基の保全調節が行われるものと考えられた。しかし乍ら近年 Ammonia 排泄量を調節する最も重要な要因として尿の水素イオン濃度が挙げられている。かかる所説は始め Briggs (1934)³⁴⁾ により実験的に証明され、彼は尿 Ammonia の生理学的意義は、体液の酸塩基平衡の調節ではなくて、尿が過度に酸性化するのを防止し尿路を保護するに役立つものであると推論している。その後この尿 Ammonia 排泄量は尿 pH の増減に伴い減少或いは増加するという説は、Pitts (1948)³⁵⁾, Ferguson (1951)³⁶⁾, Wolf (1947)³⁷⁾ 等により実験的に証明された。

その他、慢性 Acidosis の際に尿 pH に比して、Ammonia 排泄量が著しく増大するのは、腎の Glutaminase の活性増大によると Rector et al (1955)³⁸⁾ 等が説明し、Leonard and Orloff (1955)³⁹⁾ は白鼠においては人や犬と異なり Ammonia 排泄量を決定する要因として尿 pH より体内の酸塩基平衡に關聯ある要因を重要視すべきであるという。

以上の尿 pH と Ammonia 排泄量との関係をしらべた研究は多くは動物(犬、白鼠)を用いて行われ、人体に關するものは少ない。又尿量が Ammonia 排泄に及ぼす影響については余り考慮が払われていない。この問題に關する研究としては古く Hubbard and Munford (1922)⁴⁰⁾ の報告があり、尿量の増大は Ammonia 排泄量を増すと述べている。

尿管における Ammonia 排泄機序として、Pitts のような NH₃ 拡散説か或いは Ryberg の NH₄⁺ と Na⁺ のイオン交換説か、何れをとるにしても、尿 Ammonia 排泄量が尿量の影響を受けるということは想像に難くない。それは何れの説をとつても、尿管細胞から管腔内の尿への Ammonia の移行は、腔内の尿の Ammonia の濃度に影響され、且つ細胞内と管腔内容の間に平衡は成立しないものと考えられるからである。

先に述べたような、人体に実験的に酸塩基平衡の変動を起させる場合には、尿 pH の変化と共に尿量の増減がこれに伴い、Ammonia の排泄量は必ずしも尿 pH の変化に平行するとは限らなかつた。そこで著者は尿量を考慮に入れて上述の成績に検討を加えること

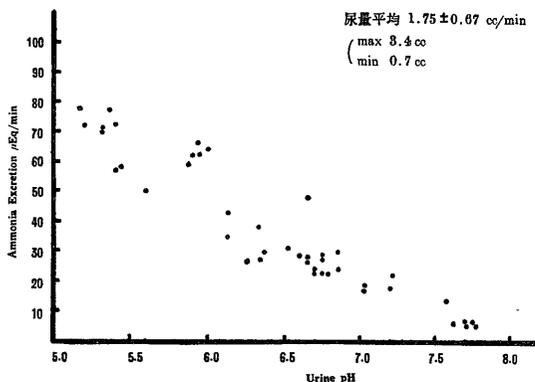
第8表 尿 pH と NH₄ 排泄の関係

	尿量 cc/min	尿 pH	滴定酸度 μEq/min	滴定酸度 総酸度 × 100	NH ₄ μEq/min	NH ₄ 総酸度 × 100	総酸度 μEq/min
1	2.10	5.87	17	22.8	59	77.2	76
2	2.40	5.93	18	22.3	62	77.7	80
3	2.75	5.90	19	23.5	62	76.5	81
4	3.15	5.93	21	24.3	66	75.7	87
5	3.35	6.00	18	22.0	64	78.0	82
6	2.85	6.13	15	26.3	43	73.7	58
7	2.15	6.52	10	24.2	31	75.8	41
8	1.40	7.03	0.8	4.5	18	95.5	19
9	1.50	7.20	0.2	0.7	18	99.3	18
10	1.35	7.13	0.5	2.7	19	97.3	20
11	1.20	6.85	0.3	12.0	24	88.0	27
12	1.25	6.75	5	15.3	28	84.7	33
1	5.00	5.34	28	23.9	89	76.1	117
2	2.70	5.20	29	28.4	72	71.6	101
3	2.30	5.18	33	29.8	78	70.2	111
4	1.95	5.32	30	30.0	70	70.0	100
5	2.10	5.32	32	31.0	71	69.0	103
6	2.70	5.36	37	32.2	77	67.8	114
7	1.92	5.43	27	31.8	58	68.2	85
8	1.80	5.40	27	32.4	57	67.6	84
9	1.95	5.60	28	35.9	50	64.1	78
10	2.00	6.65	14	3	28	67.2	41
11	2.10	6.78	10	30.8	23	69.2	32
12	2.00	6.70	13	35.3	24	64.7	37
13	1.65	6.73	10	28.7	24	71.3	33
14	1.40	6.75	10	29.6	23	70.4	32
15	1.32	6.65	10	27.7	27	72.3	38
16	1.20	6.75	10	26.4	29	73.6	39
17	1.50	6.60	13	31.3	29	68.7	42
18	0.80	6.25	13	31.6	27	68.4	40
19	1.00	6.37	14	32.0	30	68.0	44
20	1.15	6.35	13	32.1	28	67.9	41
1	0.55	5.80	15	30.9	33	69.1	48
2	0.70	6.13	12	25.4	35	74.6	47
3	0.70	6.33	12	23.1	38	76.9	50
4	1.10	6.65	9	15.6	48	84.4	56
5	1.05	6.85	6	16.4	30	83.6	36
6	1.50	7.21	0.9	4.0	22	96.0	23
7	1.45	7.58	1	0	14	100	14
8	1.20	7.70	1	0	6	100	6
9	1.15	7.77	1	0	5	100	5
10	1.45	7.75	1	0	6	100	6
11	1.20	7.71	1	0	5	100	5
12	1.20	7.63	1	0	6	100	6

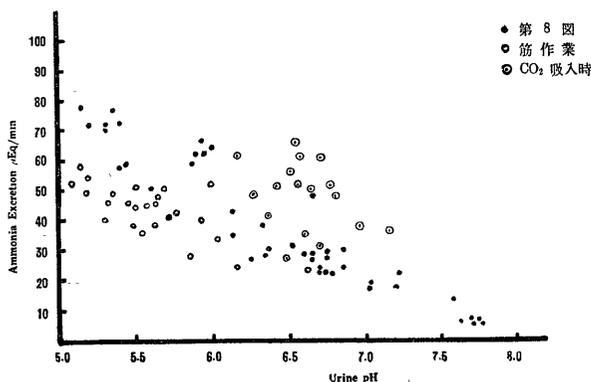
とした。

それには先ず著者自ら被検者となり、塩化アンモン及び重曹の服用により短時間内に Acidosis 及び Alkalosis を起し、pH の異なつた多くの尿試料を集め、これらにつき尿 pH と Ammonia 排泄量との関係を求めた。即ち、塩化アンモン 5~8g を水 200cc と共に服用し、尿 pH が十分に酸性化するのを待ち、 NaHCO_3 10g を水 100cc と共に服用し、Acidosis から Alkalosis に移行する間の 2~3 時間の尿を 10 分おきに分別採取し、その各々について pH と Ammonia 量を測定した。3 回行つた測定の成績は第 8 図に示す。各測定試料の尿量は平均 1.75 ± 0.67 cc/min でこの種の実験としては尿量の変動は少ない方である。第 8 図をみるに、測定点は微に彎曲した一曲線を中心として分布し、尿 pH と Ammonia 排泄量との間には緊密な関聯のあることが窺われる。

第 8 図 実験的 Acidosis 及び Alkalosis 時の尿 pH と Ammonia 排泄量



第 9 図 筋作業時、 CO_2 吸入時 Ammonia 排泄の比較



然るに第 2 表に示した筋作業時及び第 6 表に示した CO_2 呼吸時における Ammonia 排泄量と尿 pH の関係を第 8 図の上に描けば第 9 図となる。一見して明らかのように、筋作業時においては尿 pH に比して Ammonia 排泄量少なく、 CO_2 呼吸時には、逆に pH に比して Ammonia 排泄量が多い。この差異を生ぜしめる要因の一つとして、尿量が考えられる。即ち、筋作業時には尿量減少するに反し、 CO_2 呼吸時には尿量が増加する故である。

又、水利尿の実験 (第 1 表) において、利尿時に尿 pH は増大するに拘らず、Ammonia 排泄量は多くなつてゐる。この所見も Ammonia 排泄量が尿量により強く支配されることを示すものである。

Ammonia 排泄量とは、いう迄もなく尿量と尿 Ammonia 濃度の積である。尿 Ammonia 濃度が一定であれば Ammonia 排泄量は尿量に比例する筈であるが、実際には尿 Ammonia 濃度は尿量によつて影響されるであろう。Pitts などは尿量の一定なる条件の下では、Ammonia 排泄量は尿 pH によつてきまるといつているが、これは換言すれば、この条件下では尿 Ammonia 濃度は尿 pH できまるといふことになる。著者は先に述べた諸実験で観察される尿 Ammonia 濃度—尿 pH の関係を求め、これに対し尿量が如何なる影響を有するかを吟味した。

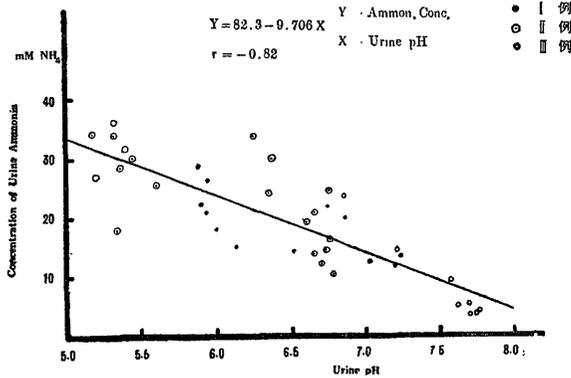
先ず第 8 図に示した Acidosis 時に NaHCO_3 を服用し、急に Alkalosis に移行せしめる実験の尿試料につき尿 Ammonia—尿 pH 関係を図示すると第 10 図となる。この実験では尿量は比較的変動少なく (1.75 ± 0.67 cc/min)、点はある幅をもつた帯状に分布する。 ($\gamma = -0.82$) これを直線関係と見做し回帰直線を求めると

$$Y = 82.3 - 9.706X$$

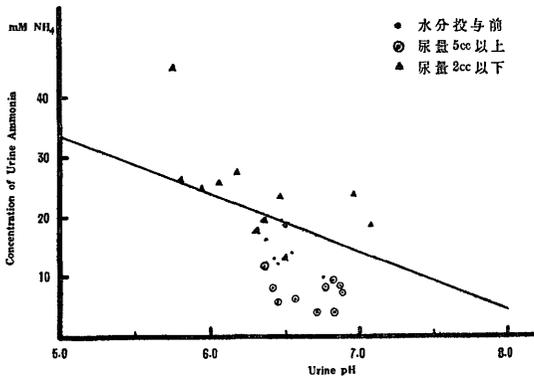
Y は Ammonia 濃度、X は pH である。図上の直線はこれを示したものである。

第 11~17 図は前述の諸実験に得た尿試料につき、Ammonia—pH 関係を図に示したものである。点の分布の概略を示す便宜上、上述の回帰直線をも図示した。図上の点は尿量の大小を区別して示した。これらの図を通覧して分ることは、尿量の異なる場合には、尿

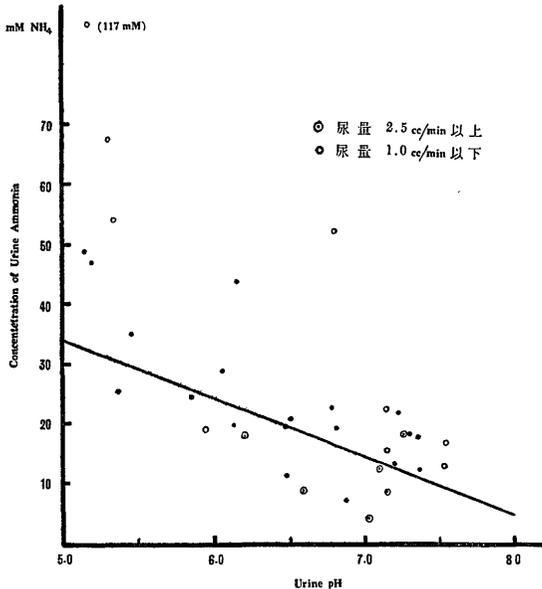
第10図 尿 pH と Ammonia 濃度との関係



第11図 水分投与実験



第12図 強度筋作業実験における NH₄ 排泄



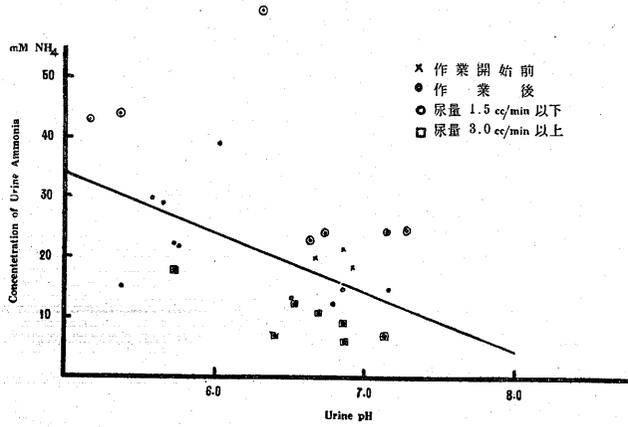
pH にくらべて Ammonia の濃度が高まっている。又 pH が著しく低くならぬ限り、Acidosis をおこす方法が異なっても、Ammonia-pH 関係は大して変わらないように見受けられる。但し、強度筋作業の場合、尿の pH が 5.0 付近まで下ると Ammonia 濃度が急増するから、回帰直線をこの pH 領域まで延長することはこの場合は無理であろう。

腎臓で排泄される酸、即ち尿細管において排泄される H⁺ は、一部は遊離酸として残部は Ammonium 塩の形で尿に現われる。排泄された酸のうち幾%が遊離酸の形をとるかは、尿の pH が小さいほどこの%は大きくなる。その 1 例を示せば第18図のようになる。尿 pH が血漿の pH (7.4) に等しくなれば 0%となるが、Ammonium 塩の形ではなお成りの量が排泄されている。尿 pH が 8.0 に高まって始めて、尿に Ammonia が全く現われなくなる。Ammonia 排泄の生理的意義は、いう迄もなく体内の Fixed base の節約にあるが、それは酸性尿においてのみい得ることである。体内にアルカリ過剰を来たした Alkalosis の際、腎は過剰の Alkali を選択的に排泄するが、この際なお Ammonia が尿細管で生成排泄されることは過剰 Alkali の排泄を妨げる結果となる。

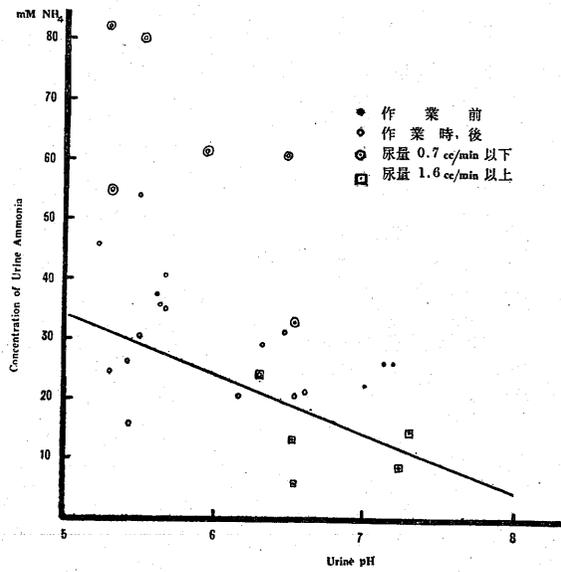
以上 Ammonia 排泄に関する実験所見より、短時間の筋作業、塩化アンモン Acidosis、呼吸性 Acidosis 等における Ammonia 排泄量を決定する要因としては、尿 pH と尿量が挙げられる。尿 Ammonia 濃度は尿 pH の低下に従って増し、尿量の増大と共に減ずるが、Ammonia 排泄量は pH の低下と共に、又尿量の増大と共に増加する。

Ammonia の排泄が主として尿の性状によつて規定され、従つて酸塩基平衡の変動に対する反応は迅速である。これに対し遊離酸の排泄(滴定酸度で表わされる)は、尿の性状よりもむしろ体液の酸塩基平衡に左右されるところが強く、従つて身体の酸塩基平衡の変動に対し反応の発現おそく、且つ持続性を示している。

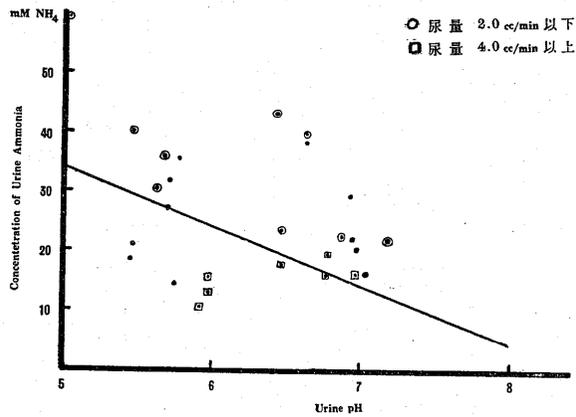
第13図 強度筋作業実験



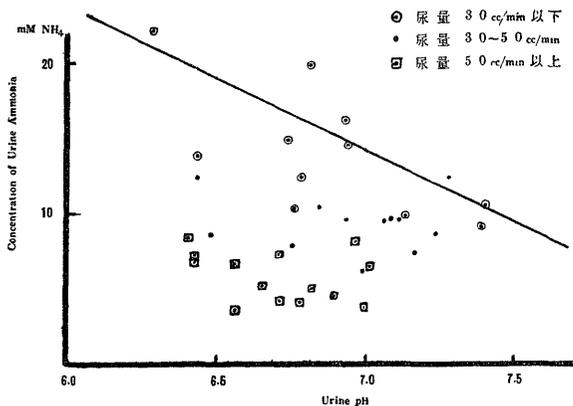
第14図 軽度長時間筋作業実験



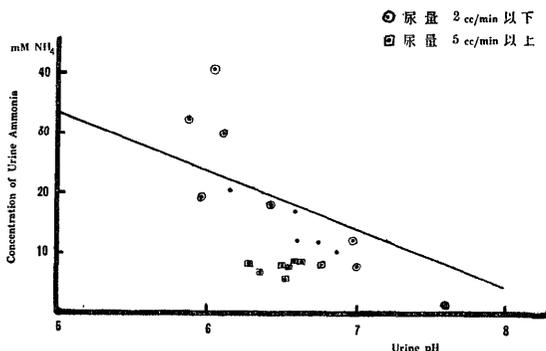
第15図 塩化アンモン投与実験



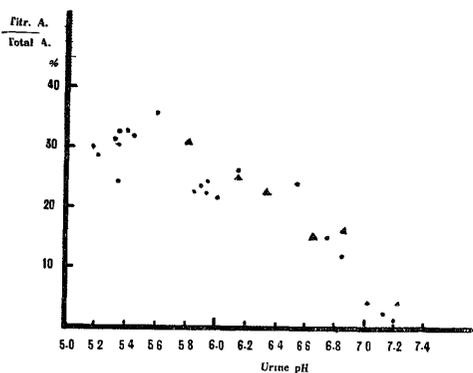
第16図 CO₂ 吸入実験



第17図 高濃度 CO₂ 吸入実験



第18図 尿 pH と $\frac{\text{Titration acidity}}{\text{Total acidity}} \times 100$ の関係



要 約

人体について、水利尿、筋作業、塩化アンモン Acidosis, CO₂ 加空気呼吸による Acidosis 等の場合における尿の性状を精査し、次の所見を得た。

1) 尿量は筋作業、塩化アンモン服用実験では減少し、CO₂ 吸入試験では増加している。又過呼吸によつて Alkalosis をおこした実験においても尿量増加の傾向を認めている(未発表)。従つて血液の酸塩基平衡と尿量変動の間に簡単な関係を見出すことはできない。

2) Acidosis の際には尿の酸性化及び酸排泄量の増加を来たすが、CO₂ 吸入の場合には、血液 pH の低下に比して尿所見の変化が小さい。

3) Acidosis の際の尿遊離酸排泄は緩慢に経過するが、Ammonia 排泄は急激に増減し、Acidosis 経過後一時著しく減少することがある。

4) Ammonia 排泄量は尿酸度と尿量に平行して増大する。Acidosis の発生機序には関係しない。尿の pH に比して Ammonia 排泄量が筋作業時は少なく、CO₂ 吸入時に多いのは、前者において尿量少なく、後者において尿量の多いことに基因する。

5) 尿の総酸排泄量のうち遊離酸として排泄されるものの割合は、尿の酸度が高まるほど大きくなる。

6) Donaggio 反応値は、筋作業、塩化アンモン服用、及び CO₂ 吸入実験において、血液の Acidification (酸性側偏位) と略々平衡して増大している。この所見は、下川等²⁰⁾の Acidosis を以つて Donaggio 反応値増大の一要因と見做す所説に一つの支持を与えるものである。

稿を終るに当り、御懇篤なる御指導、御校閲を賜りました斎藤教授に深く謝意を表します。

文 献

- 1) Wilson, D. W., W. L. Long, H. C. Thompson : J. Biol. Chem. 65 ; 755, (1925).
 2) 吉川春寿・福山富太郎 : 厚生科学, 1 ; 261, (1940). 3) 沼田龍男他 : グレンツゲベ-ト, 15 ; 34, (1941). 4) 沢田芳男他 : 体質医学研究所報告, 1 ; 300, (1951).
 5) 林勝他 : 体力科学, 2 ; 159, (1952).
 6) 村上長男 : 日本生理学誌, 15 ; 52, (1953).
 7) 北浜章地 : 体力科学, 5 ; 8, (1955).
 8) Haldane, J. B. S. : J. Physiol. 55 ; 265, (1921). 9) 佐藤静馬 : 岡山医学会雑誌, 51 ; 14, (1939). 10) 小出正視 : 日本循環器病学雑誌, 5 ; 482, (1940). 11) Davies, H. W., J. B. S. Haldane, E. L. Kennaway : J. Physiol. 54 ; 32, (1920).
 12) Collip, J. B., P. L. Backus : Amer. J. Physiol. 51 ; 568, (1920). 13) 藤本富太郎 : 京都医学誌, 35 ; 267, (1938).
 14) 佐藤静馬 : 岡山医学誌, 51 ; 14, (1939).
 15) Brassfield C.R. : Amer. J. Physiol. 132 ; 272, (1941). 6) 黒田正夫 : 日本衛生学誌, 2 ; 21, (1948). 17) 川上正澄 : 日本生理学誌, 14 ; 171, (1952). 18) Longson, D. and J. N. Mills : J. Physiol. 122 ; 81, (1953). 19) Jetzler, A. : Klin. Wschr. 1938 ; 1245, (1938). 20) Rendel, G. : Arb. Physiol. 10 ; 521, (1939). 21) 佐藤宏 : 体育研究, 9 ; 15, (1941). 22) 齋藤重雄 : 厚生科学, 2 ; 623, (1941).
 23) 平和良彦 : 京府大雑誌, 38 ; 573, (1943).
 24) 佐藤知信 : 北海道医学誌, 21 ; 559, (1943).
 25) 山添三郎 : 医学と生物学, 14 ; 319, (1949).
 26) 下川末夫・中山達夫他 : 体力科学, 2 ; 183, (1952). 27) 桜井昭光 : 十全医学誌, 55 ; 1011, 1022, (1953). 28) 下川末夫 : 日本生理学誌, 15 ; 636, (1953). 29) 下川末夫他 : 日本生理学誌, 17 ; 1, (1955).
 30) 齋藤幸一郎・本田良行 : 日新医学, 42 ; 167, (1955). 31) Hawk and Summerson : Pract. Physiol. Chem. 830. 32) 中山達夫 : 総合医学, 10 ; 5, (1953). 33) 下川末夫・萩野修 : 十全医学誌, 56 ; 216, (1954).
 34) Briggs, A. P. : J. Biol. Chem. 104 ; 231, (1934). 35) Pitts, R. F. : Federat. Proc. 7 ; 418, (1948). 36) Ferguson, E. B. : J. Physiol. 112 ; 420, (1951).
 37) Wolf, A. V. : Amer. J. Physiol. 148 ; 54, (1947). 38) Rector, F. C. : J. Clin. Invest. 33 ; 958, (1954). 39) Leonard and Orloff : Amer. J. Physiol. 182 ; 131, (1955). 40) Hubbard and Munford : J. Biol. Chem. 54 ; 465, (1922).