

長時間歩行運動時の糖, 脂質代謝に及ぼす各種摂食条件の影響

Effects of consumption conditions upon carbohydrate and lipid metabolism in the walking for long times

山本 忠志* 村上 佳司**
YAMAMOTO Tadashi MURAKAMI Yoshikazu

This study was to observe how consumption conditions would influence carbohydrate and lipid metabolism in the walking for long times. The consumption conditions are the following three cases: In the state of hunger for long hours (Ex.1), With consumption of breakfast (Ex.2), With consumption of breakfast and additional consumption of glucose of 25g every 90 minutes (Ex.3).

The experiment was performed on 5 grown-up males, from 8.00 a.m. till 1:30 p.m. The blood sample was taken 4 times every 90 minutes, starting from 9:00 a.m. The blood test inspected and measured glucose (BS), insulin (IRI), glucagons (GLU), triglyceride (TG), free fatty acid (FFA), lactic acid (LA) and heart rate (HR).

The result was showed under the 3 consumption conditions as follows:

- 1) The HR increased in comparison with rest. Its exercise intense was 20% of maximum. LA was showed its slight increased in comparison with rest, its average was normal range. HR and LA were keeping almost same number under all 3 conditions.
- 2) In Ex.1, the BS level showed its decrease according to the time passing. Secretion of IRI showed almost no change. GLU showed slightly increase. In the meanwhile, FFA increased according to the time passing. Its change made five times as large in comparison with rest.
- 3) In Ex.2, the BS was showing its slight increase in one hour after consumption of breakfast, and afterwards decreasing slightly according to the time passing. IRI showed its high level in one hour after consumption of breakfast, and afterwards decreasing according to the time passing. GLU showed its slight increase after 1 hours and half, and afterwards increased according to time passing. In the meantime, FFA increased according to time passing. Its increase made seven times as large in comparison with rest.
- 4) In Ex.3, the BS repeated its slight increase and decrease. IRI showed its high level in one hour after consumption of breakfast, and afterwards it was decreasing according to time passing. GLU showed its slight increase in 2 hour and half after consumption of breakfast. Afterwards it no change. FFA was keeping its low level after 2 hour and half, however its showed increase afterwards. Its level made 2.5 times as large in comparison with rest.

キーワード：糖代謝, 脂質代謝, 各種摂食条件, 歩行運動

Key words : carbohydrate metabolism, lipid metabolism, various consumption conditions, walking

I. 目的

著者らは前号¹⁷⁾において安静時における摂食条件の違いにおける糖代謝および脂質代謝について血糖値, 血中インスリンとグルカゴン値ならびに血中遊離脂肪酸と中性脂肪から検討した。今回は同様の摂食条件のもと摂食後に歩行運動を実施し, 長時間にわたる歩行運動実施における糖代謝および脂質代謝の変化を検討するものである。長時間の軽度の運動が各代謝機能にどのように影響するのかを観察するとともに, 日常生活に歩行運動を効果的に取り入れるための資料を得ることを目的とした。

そこで, 本研究の被験者として糖尿病の存在が否定された健康成人5名を対象として, 朝食に坂口氏試験食^{7,15)}を摂取させた場合さらに, 坂口氏試験食を摂取させた後2回ブドウ糖25gを投与させた場合と前日の午後8時以後食物摂取を全くしなかった場合の3つの条件によって実験を実施した。歩行運動は4時間の時間をかけて22kmの距離を歩くものである。すべての実験においてホルター心電計を装着し, 全実験中の心電図を記録した。さらに, 第1回採血から1時間30分ごとに計4回の採血を行い, 糖代謝に関わるホルモンであるインスリンとグルカゴン^{5,9,14)},

さらに脂質代謝に関わる脂質成分である遊離脂肪酸（以後FFAと示す）と中性脂肪、さらに運動負荷時のエネルギー代謝に関わる乳酸値^{8,11)}の測定を行い、前述の3条件での比較検討によって、若干の知見を得たので報告する。

II. 実験方法

1. 実験対象

実験対象は、兵庫教育大学院に在学する健康な成人男子5名である。いずれも呼吸循環器疾患の既往はなく、糖尿病の存在が否定された通常の生活を営む者で、研究の主旨について賛同を得たものである。5名の年齢構成は26~39 (31±4.9) 歳である。

2. 実験方法

1) 摂食条件

被験者は実験実施にあたって前日の夕食摂取後、午後8時以後は水またはお茶以外の食品の摂取を禁止し、12時間の空腹状態を持続させた。このような前処理のもとで、3種類の条件の異なる実験を一週間以上の間隔をあけて行った。実験の所要時間は午前8時から午後1時30分までの5時間30分間である。

(1) 午前8時の実験開始以後も、実験終了の午後1時30分まで水またはお茶以外の食品摂取を禁止する空腹状態を持続させたもの、これが空腹時実験（以後実験1と示す）である。

(2) 実験開始の午前8時に朝食として坂口氏試験食^{7,15)}（米飯270g、鶏卵2個の約560cal）を摂食させ、以後実験終了時刻の午後1時30分まで水またはお茶以外の食品摂取を禁止するもの、これが坂口氏試験食摂取実験（以後実験2）である。

(3) 実験開始の午前8時に朝食として坂口氏試験食を摂食させ、第2回（午前10時30分）および第3回採血（12時）後にブドウ糖25gをトレーランG（清水社製）によって摂取したもの、これが坂口氏試験食後糖負荷実験（以後実験3）である。

2) 歩行運動について

歩行運動は標高差100m程度の野外を午前9時から午後1時30分までの時間をかけて22kmを歩くものである。3種の条件とも同じ行程で実施した。

3) 心電図記録および平均心拍数の算定について

当日の午前8時にホルター心電計を装着させ、全実験経過中の心電図を記録した。装着後から歩行運動開始までの安静時および第1回採血後の歩行運動開始か

ら第4回採血終了までの4時間30分にわたる採血中の時間を除く心電図のR波の積算から、各被験者の安静時および歩行中の平均心拍数を求めた¹⁾。

4) 採血について

採血は、実験中4回にわたり左右の肘静脈から実施し、1回の採血量は10ccである。採血時期については、第1回の採血は実験開始より1時間後の午前9時である。以後1時間30分ごとに実施し、第2回目の採血は10時30分、第3回目の採血は12時、第4回目の採血は13時30分である。歩行中の2回目と3回目の採血は休憩し、静止状態で行い、所要時間は約15分であった。

5) 測定項目および測定方法

血液検査項目は血糖、インスリン、グルカゴン、FFA、中性脂肪と乳酸の6項目である。これらの測定方法¹⁰⁾は次の通りである。

血糖値は抗凝固剤、抗解糖防止剤（フッ化ナトリウムペパリンEDTA-2Na）入りの容器に採取し、3000回転で10分間の遠心沈殿の後、その上澄液を酵素法（GOD-POD法）により測定した。インスリン値はインスリン放射能免疫測定キットを用い二抗体法を利用した。反応後常温で2000回転で10分間遠心分離し、血清分離後放射能測定をした。グルカゴン値は抗凝固剤とトラシロール入りの容器に採取し、グルカゴンキットを用いて二抗体法を利用した。低温（4℃）で2000回転での30分間遠心分離し、血清分離後γカウンターで測定した。FFA値はNEFAザイムS試薬（栄研化学製）を使用し、アシル-CoAシンターゼとアシル-CoAオキシターゼの2種の共役酵素反応による酵素法によった。中性脂肪値はトリグザイム試薬（栄研化学製）を使用し、LPL-GK-GPO系の3段階の酵素反応による酵素法によった。血中乳酸値の測定は反応試薬を用いて酵素法によった。

III. 実験結果および考察

1. 心拍数の変化について（表1）

表1に示すごとく、被験者5名の3実験期間中の午前8時から9時までの安静時と午後1時30分までの約4時間の歩行時の心拍数は、安静時が62~71の数値を示し、歩行時の心拍数が85~108を示した。安静時心拍数は標準偏差も小さく、変動係数をみても、全ての被験者が3~4%程度であった。さらに歩行時の心拍数も個人において安定しており、運動強度についてみると最大強度の20~30%程度である^{1,18)}ことが認められた。すなわち全

表1 各被験者の3実験中の安静時（上段）および歩行時（下段）平均心拍数（m±S.D）（beats/min）

Subj.	K.K	Y.T	K..S	F.H	T.Z
rest	65.5±2.34	64.7±2.14	68.8±2.44	64.3±2.04	68.0±2.66
walking	101.3±3.87	88.6±2.70	103.1±4.56	92.2±6.45	95.4±6.38

行程にわたって軽度の運動強度であることを示唆するものであった。

2. 血中乳酸値の変化について (表2)

表2に示すごとく、被験者5名の3実験期間中の歩行時における3回の採血の血中乳酸濃度は、ほぼ安定した数値であった。その数値は安静時に示される正常値(4~16mg/dl)¹⁰⁾の範囲内であった。すなわち、歩行運動時においても酸素を十分に取り込みながらの有酸素運動であることを示唆する結果であった。

3. 血糖値の推移について (表3)

表3に示すごとく、実験1における第1回採血時の数値は89~97mg/dlの数値を示し、全て正常範囲内の数値¹⁰⁾であった。平均値では93.4±3.29となった。以後第2回、第3回および第4回の採血では被験者によって第3回目に最小値を示すもの1名、他の4名は第4回目に最小値を示していた。すなわち、時間経過とともに全被験者が低下傾向を示し、平均値で約10%の低下が認められた。実験2では第1回採血時の数値は実験1よりも全員が高く示され、明らかな増加を認めた。すなわち食事摂取によって一過性に血液中にブドウ糖の増加⁴⁾を示唆するものであった。ところがそれ以後は第2回、第3回、第4回と低下を示し、平均値でも第1回目に比べて第4回目では約10%の低下が認められた。実験3では実験2と同様に1回目の採血では高値を示し、実験1と比べて明らかな上昇が認められた。その後第2回目、第3回目、第4回目と数値の低下傾向が認められ、第4回目では平

均で第1回目に比べて約8%の低下が認められた。ところが、実験1および実験2の第3回目と第4回目の数値を比較してみると、実験3での数値は最も高く示された。すなわち、25g程度の糖摂取によって血糖値の減少が抑えられたことを伺える結果であった。前回の報告¹⁷⁾した安静時と比較すると時間経過による血糖値の低下は歩行時の方が大きく示された。すなわち、軽度の運動でも安静時よりもエネルギーとして糖質の利用がされている^{4,6)}ことを示唆するものであった。

4. インスリンの推移について (表4)

表4に示すごとく、実験1における第1回から4回の採血時の数値は4~8 μU/mlの数値を示した。このことから、空腹時にインスリン分泌は微量であることが示された。すなわち膵臓のβ細胞への刺激はほとんどみられない^{6,7,9,14)}ということが示唆される結果であった。一方、実験2および実験3での第1回採血時の数値は実験1よりも全員が高く示され、明らかな増加を認めた。すなわち食事摂取によってインスリンの分泌の上昇が認められていた。その上昇は第2回目の採血時でも依然認められており、試験食の摂取が2時間半後でもすい臓のβ細胞を刺激し、それによってインスリン分泌を促進させている^{6,7,9,14)}ことが伺えた。実験2での第3回目および第4回目では明らかな数値の減少がみられ、空腹時とほぼ同様の数値となった。すなわち、食後4時間では食物の消化吸収により糖が筋ならびに肝に取り込まれている^{2,6)}ことや、運動による糖の消費によって血糖値が下がり、

表2 各被験者の3実験歩行時の平均血中乳酸値 (m±S.D) (mg/dl)

Subj.	K.K	Y.T	K..S	F.H	T.Z
実験1	10.27±0.76	10.13±1.29	11.70±0.95	8.67±1.06	9.72±1.21
実験2	11.18±0.86	10.43±0.88	10.75±0.93	8.83±0.86	10.77±0.91
実験3	11.57±1.21	11.27±1.45	9.55±0.83	8.50±1.06	10.17±0.90

表3 長時間歩行での各種摂食条件における血糖値の推移 (mg/dl)

Subj.	実験1				実験2				実験3			
	9:00	10:30	12:00	13:30	9:00	10:30	12:00	13:30	9:00	10:30	12:00	13:30
K.K	89	86	83	88	96	100	98	88	99	99	104	94
Y.T	91	91	92	87	102	96	95	92	96	88	85	86
K..S	95	100	80	78	105	90	88	90	111	95	97	93
F.H	97	90	87	84	100	98	95	93	103	96	100	96
T.Z	95	97	88	85	105	100	97	86	105	92	99	95
平均	93.4	92.8	86.0	84.4	101.6	96.8	94.6	89.8	102.8	94.0	97.0	92.8
標準偏差	3.29	5.63	4.64	3.91	3.78	4.15	3.91	2.86	5.76	4.18	7.18	3.96

表4 長時間歩行での各種摂食条件におけるインスリンの推移 (μU/ml)

Subj.	実験1				実験2				実験3			
	9:00	10:30	12:00	13:30	9:00	10:30	12:00	13:30	9:00	10:30	12:00	13:30
K.K	6	6	5	7	22	13	7	7	25	9	11	7
Y.T	8	6	8	7	30	19	9	8	29	13	9	9
K..S	8	6	5	5	22	12	8	9	25	10	12	13
F.H	7	6	4	4	21	15	8	8	18	11	8	8
T.Z	8	8	7	8	30	19	9	9	27	12	10	9
平均	7.4	6.4	5.8	6.2	25.0	15.6	8.2	8.2	24.8	11.0	10.0	9.2
標準偏差	0.89	0.89	1.64	1.64	4.58	3.29	0.84	0.84	4.15	1.58	1.58	2.28

その結果インスリンの分泌が抑えられたと考えられる。ところが、実験3では第2回目および3回目の採血終了後にブドウ糖を摂取しており、それが因となって、第3回目および第4回目の数値は減少することなく、依然高い数値を示したと考えられる。すなわちインスリンは糖質の吸収に対して過敏に反応して分泌される^{6,14)}ことが示唆される結果であった。

5. グルカゴンの推移について (表5)

表5に示すごとく、実験1における第1回採血時の数値は117~150pg/mlの数値を示し、安定した数値であった。以後第3回、第4回の採血では被験者間にバラツキを認めながら、明らかな増加を示した。平均値では第2回目が最も低く、以後明らかな上昇を認めた。すなわち運動が血液中の糖をエネルギーとして利用していることによって、血糖値の低下が起こり、それを抑えるために分泌量が増加している^{2,5,9,13)}ことが示唆されるものであった。実験2においても同様の傾向を示していた。第1回採血時の数値は実験1よりも全員が低く示された。すなわち、食事摂取による糖質摂取がグルカゴンの減少傾向を引き起こす^{5,9)}ことを示唆するものであった。ところが、それ以後第2回、第3回、第4回と上昇傾向を示し、平均値でも第1回目比べて第4回目では約40%の上昇が認められた。一方、実験3では第2回目、第3回目、第4回目においては第1回目と同様の数値であった。すなわち、グルカゴンは食物摂取により血液中の糖質の増加によって分泌量が抑えられ、逆に空腹時における血液中の糖質の低下によって膵臓のα細胞を刺激してグルカゴンを血液中に分泌させることによって、肝臓に蓄えられているグリコーゲンの分解を促進し、その結果血液中の糖を増加させるという作用^{5,9,13)}を示唆する結果であった。

6. FFAの推移について (表6)

表6に示すごとく、実験1における第1回採血時の数値は193~390mg/dlの数値を示し、平均値では288.4±76.23とバラツキが大きく示された。以後第2回、第3回、第4回の採血では上昇傾向を示した。すなわち、時間経過とともに全被験者が高値を示し、第4回目の採血では第1回目の平均値よりも約5倍の上昇が認められた。すなわち、空腹時の持続と歩行という運動に伴って、脂肪分解が進み、脂肪をエネルギーとして利用しようとしている^{3,11,15,16,19)}ことが伺えるものであった。実験2では第1回採血時の数値は実験1よりも低く示される傾向が認められた。すなわち食事摂取による糖質補給がなされ、それにもなって脂肪分解が抑えられた^{3,16)}ことが原因と考えられる。ところが、それ以後第2回、第3回、第4回と数値の上昇を示し、特に第4回目の数値は明らかな高値を認めた。平均値でも第1回目比べて第4回目では約7.5倍の上昇が認められた。これらFFAの数値は異常値¹⁰⁾となり、このような上昇は生体への負担として心臓機能低下を引き起こす可能性があるといわれている^{11,19)}。実験3では実験2と同様に1回目の採血では数値が低く示された。その後第3回目、第4回目と上昇が認められ、第4回目では平均で第1回目比べて約2.8倍の増加が認められた。ところが、実験1および実験2の第3回目と第4回目の数値を比較してみると実験3での数値は低く示され、25gの糖摂取によってFFAの上昇が抑えられたことが伺える結果であった。すなわち、糖を摂取することによって脂肪分解が抑制された^{3,16)}ことが考えられる。しかし1回目の数値と比べると数値の増加は顕著であったものの1名を除いてその数値は正常範囲内¹⁰⁾であった。これらのことから、運動負荷によって、糖質のエネルギーだけでは十分でなく、脂質からも補給しようとしていることが明らかになった。

表5 長時間歩行での各種摂食条件におけるグルカゴンの推移 (pg/ml)

Subj.	実験 1				実験 2				実験 3			
	9:00	10:30	12:00	13:30	9:00	10:30	12:00	13:30	9:00	10:30	12:00	13:30
K.K	117	102	123	124	107	118	119	129	97	95	89	81
Y.T	125	114	122	125	113	115	129	128	93	100	92	105
K.S	120	116	150	170	89	130	144	152	82	110	83	97
F.H	129	127	146	166	117	148	138	143	102	105	123	100
T.Z	150	152	197	210	123	142	149	158	106	120	114	106
平均	128.2	122.2	147.6	159.0	109.8	130.6	135.8	142.0	96.0	106.0	100.2	97.8
標準偏差	13.03	18.87	30.45	35.89	13.01	14.45	11.99	13.44	9.25	9.62	17.31	10.08

表6 長時間歩行での各種摂食条件における遊離脂肪酸の推移 (μEq/ml)

Subj.	実験 1				実験 2				実験 3			
	9:00	10:30	12:00	13:30	9:00	10:30	12:00	13:30	9:00	10:30	12:00	13:30
K.K	6	6	5	7	22	13	7	7	25	9	11	7
Y.T	8	6	8	7	30	19	9	8	29	13	9	9
K.S	8	6	5	5	22	12	8	9	25	10	12	13
F.H	7	6	4	4	21	15	8	8	18	11	8	8
T.Z	8	8	7	8	30	19	9	9	27	12	10	9
平均	7.4	6.4	5.8	6.2	25.0	15.6	8.2	8.2	24.8	11.0	10.0	9.2
標準偏差	0.89	0.89	1.64	1.64	4.58	3.29	0.84	0.84	4.15	1.58	1.58	2.28

7. 中性脂肪の推移について (表7)

表7 長時間歩行での各種摂食条件における中性脂肪の推移 (mg/dl)

Subj.	実験 1				実験 2				実験 3			
	9:00	10:30	12:00	13:30	9:00	10:30	12:00	13:30	9:00	10:30	12:00	13:30
K.K	105	107	93	99	108	113	101	98	112	100	98	104
Y.T	107	97	100	96	98	116	82	102	114	96	83	91
K.S	121	99	109	105	120	114	122	103	109	101	96	90
F.H	85	85	86	92	81	85	79	110	88	79	86	83
T.Z	106	90	95	98	114	106	100	104	116	114	101	100
平均	104.8	95.6	96.6	98.0	104.2	106.8	96.8	103.4	107.8	98.0	92.8	93.6
標準偏差	12.85	8.47	8.56	4.74	15.30	12.76	17.31	4.34	11.37	12.59	7.85	8.38

表7に示すごとく、実験1の数値は第1回目に高い傾向が示され、以後時間経過とともに、低下傾向を示しているが、その低下は軽度で、第4回目の平均値では第1回目の平均値に比べて約5%の低下にとどまっていた。また、実験2では第3回目にのみ低下傾向がみられ、実験3では第1回目の数値が最も高く示されていた。食事摂取によって脂肪が血液中に増加したことが考えられる。しかし、その変化は軽度であることが認められた。また、実験3での糖負荷の影響もほとんど見られず、空腹時と同様の数値であった。今回のような食物摂取では血液中の中性脂肪を増加させるには至っていないことが伺える結果であった。

以上の結果をまとめると、糖代謝において、空腹時の運動によって血糖値の低下傾向が認められた。血糖値を低下させるホルモンであるインスリンは運動によってその分泌が抑制される^{6,9,14,15)}ことが明らかにされた。一方、血液中の糖を上昇させるためのグルカゴン^{5,9,13)}は運動によって消費された糖質を補うために血液中の増加を示した。すなわち、運動負荷による低血糖を起こさないようにグルカゴンが血液中の糖を増加させるための作用を示唆する結果であった。

一方、脂質代謝については、中間代謝物質であるFFA^{3,11,18,19)}は、空腹時および朝食摂取時では高値を示し、その数値は異常値であった。運動中の糖質摂取によって正常値内に抑えられることが明らかにされた。ところが歩行中の25g程度の糖質摂取でもFFAの増加がみられたことより、運動中のエネルギー不足分を脂質から補っているものと考えられる。ところが、血液中の中性脂肪については明らかな変化は認められなかった。

前回の報告¹⁷⁾と今回の血糖値、インスリン、グルカゴン、FFAの関係をみてみると、表8のようになる。この表はそれぞれの関係を相関係数で示したものである。血糖値とインスリンは正比例の関係、血糖値とグルカゴン、FFAでは反比例の関係を示し、インスリンとグルカゴン、FFAとでは反比例の関係、グルカゴンとFFAでは正比例の関係を示された。これらの因果関係は血糖値によって関連するといわれており、血液中のグルコース濃度によって膵臓の α 細胞や β 細胞を刺激し、その結果分泌されたホルモン作用によって糖質分解を促進したり、抑制したり、また脂肪組織を刺激したりしているものと考えられる^{3,6,8,16)}。

表8 血糖値、インスリン、グルカゴン、FFAの関係

	インスリン	グルカゴン	FFA
血糖値	0.387	-0.528	-0.519
インスリン		-0.425	-0.403
グルカゴン			0.503

IV. 結論

長時間歩行時における糖代謝、脂質代謝に各種の異なる摂食条件が及ぼす影響について観察する目的で3つの摂食条件の下実施した。

実験1は午前8時の実験開始以後も、実験終了の午後1時30分まで水またはお茶以外の食品摂取を禁止する空腹状態を持続させたもの。実験2は午前8時に朝食として坂口氏試験食(米飯270g、鶏卵2個の約560cal)を摂食させ、以後実験終了時刻の午後1時30分まで水またはお茶以外の食品摂取を禁止するもの。実験3は午前8時に朝食として坂口氏試験食を摂食させ、第2回(午前10時30分)および第3回採血(12時)後にブドウ糖25gを摂取したものである。被験者は健康な成人男子5名である。検査項目は全実験経過中の心電図記録による心拍数および、1時間30ごとの4回の採血によって、血糖値、インスリン、グルカゴン、FFA、中性脂肪、乳酸の6項目について実施し、次のような結果を得た。

1. 歩行時の心拍数は最大運動強度の20%程度の負荷強度であった。乳酸値は歩行運動中にわずかな増加を示したが、安静時の正常範囲内の数値であった。
2. 血糖値は実験1では時間経過とともに減少傾向を示し、実験2でも同様の変化がみられた。実験3でも4回目に低下傾向が認められた。
3. インスリンは実験1では全経過中低値であった。実験2では1回目および2回目では高値を示し、3回目以後は低値であった。実験3でも実験2と同様な変化を示したが、3日目、4回目の低下は軽度であった。
4. グルカゴンは実験1では3回目さらに4回目に増加した。実験2では2回目以降増加傾向がみられた。実験3では1回目、3回目および4回目に低い傾向を示した。
5. FFAは実験1では全経過中高値で、4回目では1回目の数値の約5倍であった。実験2では1回目に最も低値を示し、時間経過とともに数値の上昇がみられ、4回目では1回目の約7倍の数値であった。実験3で

は1, 2回目は低値を示したが, 3, 4回目では糖を負荷したのもかかわらず1回目よりも約2.5倍の数値であった。

6. 中性脂肪は実験1, 実験2および実験3ともに同様の数値であった。

以上の結果から軽度の長時間の歩行運動は時間経過とともに血糖値は低下傾向を示し, 遊離脂肪酸を増加させて脂肪をエネルギーとしていることが伺えたものの, 空腹状態を維持したままでの歩行は, 遊離脂肪酸が異常に高値を示すことから生体への負担は否めないと思われる。

文 献

- 1) 朝比奈一男 (監訳), オストランド運動生理学, 大修館書店, 1976.p343-370.
- 2) Berger, M., Hagg, S.andRuderman, N.B.Glucose metabolism inperfused skeletal muscle., *Biochem.J.*146, 1975.p231-238.
- 3) Bolinger,R.E.,Shane,S.R.,and Kirkpatrick, C.H., Secondary rise in plasma free fatty acids following glucose load., *Metabol.*, Vol.22, 1962.p873-878.
- 4) Calles, J.,Cunningham, J.J., Nelson,L., Brown,N.,Nadel, E., Sherwin, R.S.andFelig, P., Glucose turnover recovery from intensive exercise., *Diabetes*32, 1983. p734-738.
- 5) Felig, P., Plasma glucagon levels in Exercising man., *J.Med.*287:NewEng., 1972. p184-185.
- 6) Gomez, F., Jequier, E., Chabot, V., Buber, V.and Felber, J.P., Carbohydrate and lipid oxidation in normal human subjects:Its influence on glucose tolerance and insulin response to glucose.,*Metabol.*, Vol.21, No.5, 1972. p381-391.
- 7) 後藤由夫, 糖尿病の考え方の推移, 診療, 第207巻, 1965.p1497-1503.
- 8) 後藤芳雄, 喜多尚武, 堤達也, 運動強度と血漿FFA, Triglycerides, Cholesterol,糖及び乳酸の変動, 並びにそれ等の相互関連について, 体力研究, 31巻, 1975, p11-25.
- 9) 平田幸正, 「臍臓 診断と検査」山村雄一, 織田敏次 他5名 (監), 新内科学大系 (内分泌疾患II), 41巻, 中山書店, 1973. p302-329.
- 10) 金井泉, 金井正光(編), 臨床検査法提要, 第29版, 金原出版株. 1983.
- 11) 喜多尚武, 後藤芳雄, 堤達也, 持続運動と継続運動と血中乳酸・血清遊離脂肪酸 (FFA) ・血糖に及ぼす影響, 体力研究, 37巻, 1977, p22-34.
- 12) 北村信一, 糖尿病と運動療法, 糖尿病学の進歩, 第11集, 1977, p292-295.
- 13) Nilsson, K.O., The influence of short term submaximal work on the plasma concentrations of catecholamines, pancreatic glucagons and growth hormone in man., *ActaEndocri.* 79, 1975. p289-294.
- 14) Sanger, F., *Chemical of insulin.*, Science, 129, 1959. p1340-1344.
- 15) 住吉薫, 足立宗男, 坂田好弘, 山本忠志「歩行運動が糖負荷試験に及ぼす影響」34回日本体力医学会シンポジウム発表要旨, 1983.
- 16) Tan, M.H., Bonen, A., Garner, J.B., and Belcastro, A.N., Physical training in diabetic rats,effect on glucose tolerance and serum lipids., *J.Appl.Physiol.*52, 1982. p1514-1518.
- 17) 山本忠志, 長時間安静状態での糖, 脂質代謝に及ぼす各種摂食条件の影響, 兵庫教育大学研究紀要, 30巻, 2007, p209-213.
- 18) 横山廣之, 井関敏之, 前田如矢 (編), 臨床スポーツ医学, 南山堂, 1989. p65-91.
- 19) Wahren, J., Hagenfeldt, L.and., Felig, P., Glucose and free fatty acid utilization in exercise., *J.Med.Sci.*11, 1975. p551-559.