脂肪代謝の研究 (第1報)

Studies on the Metabolism of Fats (Report 1)

大妻女子大学栄養学研究室

長 沼 一 嘉 (Kazuyoshi Naganuma)

In order to confirm how glycogen is formed from fat in the body of a living thing, we have made some experiments in feeding white rats on butter, glycerin, and fattyacid and unsaturated fattyacid contained in butter.

1. A rat fed on 70 percent butter, increased in weight 3.7 grams on an average in ten days. When starch was used instead of fat, its weight showed an increase of 2.6 grams on an average in ten days. It is evident that butter is far superior to starch.
2. The quantity of glycogen contained in the liver of a rat fed on butter is 1.69% on an average and is far more than that of glycogen in the liver of a rat fed on starch, which is 1.38%: the fat contained in butter changes more easily to glycogen than starch.
3. On the fattyacids and glycerin contained in butter what contributes most to an increase of the glycogen in a liver is oleicacid Na., whose percentage is 1.035, and what do least are stearicacid Na., whose percentage is 0.309, and glycerin, whose percentage is 0.28.
4. An injection to a rat of nearly the same quantity of linolacid, linoleicacid or arachidonicacid as contained in butter makes no increase in glycogen.
5. What can be turned from fattyacid into glycose is saturated fattyacid alone except oleicacid, and between an increasing amount of glycogen and the number of carbon in the given fattyacid there seems to be something correlative.

動物体内に於ける脂肪より糖質の生成の経過に就ては、古くより Chavean, Kroh, Mering, Moritz 及び Prausnitz, Burn 及び Marks 等に依り研究されて居るにも係らず、未だ充分な根拠を得て居ない状態である。余は脂肪より糖質の生成を確認せんが為、従来行われたこの種研究の呼吸比、D:Nの比、Glykogenの増減の中、最も信頼性に富む動物肝 Glykogen の増量の問題に就き研究し、併せて脂肪より糖質生成の過程の中、現在尙、不明の点である酪酸より琥珀酸生成の機構を確認せんが為、下述の実験を行つた。

動物に脂肪を投与し、肝臓 Glykogen の増加を測定し脂肪より糖質の生成を証明した実験には Takao, Lewis 及び Huber, Gregg, Greshamer, 等があるが何れも Glykogen の増量僅少の為、脂肪の Glycerin が変化したものと考えられて居る。又、Okii は動物に脂肪酸及び脂肪酸と胆汁酸を与えて肝 Glykogen 量を測定して居るが未だ充分なる実証を得て居ない。余は、生体内に於ける脂肪より Glykogen の生成を確認せんが為、白ねずみを Butter, Glycerin, 及び Butter に含有する脂肪酸並びに不飽和脂肪酸を用いて実験を行い、Butter, 脂肪酸は容易に Glykogen の増量を来す事、Glycerin, 不飽和脂肪酸は Glykogen の増量に何等関係のない事を証明し脂肪酸より糖質の生成を明かにした。

実験方法

実験は次の順序に依り 3 項目に別けて之を行つた。

1. Butter 投與に於ける鼠の肝 Glykogen の増減

5匹ずつA, B, 2群の鼠を飼育し, A群には第1表Aの如き飼料を, B群には同じく第1表Bの如き飼料を, 体重100gr に付き 15gr 投与し, 10日間飼育の後屠殺, 肝臓の⁽¹¹⁾Glykogen 量を毛利, 岩崎の法に依り測定した。実験に供した鼠は約 75gr の雌性のものを選んだ。

2. 飢餓時に於ける脂肪酸及び Glycerin 投与に依る肝 Glykogen 量

投与した脂肪酸は Butter に含有する主なる脂肪酸, 酪酸, Capron 酸, Capril 酸, Caprin 酸, Laurin 酸, Myristin 酸, Palmitin 酸, Stearin 酸, Olein 酸の 10 種にして, 総て Na 塩としたものを用いた。3日間絶食状態に置いた体重約80grの雌性の鼠に試料 1 grを3回に別けて皮下に注射を行い 5時間後に屠殺Glykogen 量を測定した。又, Glycerin に就ても全く同様の実験を行つた。

3. 高度不飽和脂肪酸投與に依る鼠の肝 Glykogen 量

1) Butter 中の不飽和脂肪酸量 実験に供した不飽和脂肪酸は Butter 中に含有する Linol 酸, Linolen 酸, Arachidon 酸を用いた。尚, Butter中にこれ等の不飽和酸が含有する量に就ては現在不明なる為⁽¹³⁾に, この測定をも併せ行つた。即, Butter 1 gr を Alkohol-Ather (3 : 1) の液で溶解後濾過, 濾液に就て三浦氏法に依り脂肪酸及び磷脂質を分離した後, 其の不飽和酸を臭化物として測定した。2臭化物は Olein 酸 1分子に臭素2分子結合し, 4臭化物は Lino 1酸 1分子に臭素6分子結合し, 8臭化物は Arachidon 酸 1分子に臭素8分子結合したものと見做し, 各臭化物より臭素量を差引いた量を夫々に該当する不飽和脂肪酸量として計算した。

2) 不飽和脂肪酸投与に依る鼠の肝 Glykogen 量 3日間絶食せしめた鼠に Linol 酸, Linolein 酸, Arachidon 酸を夫々皮下注射し, 屠殺後肝 Glykogen 量を測定した。而して結果の平均値に就いては夫々下式により不均等性を検討して異状結果を除去し且つ百分比として平均値に附記した。

$$i = \pm \sqrt{\Sigma \Delta^2 / N} / N \quad (i = \text{Irregularity})$$

実験成績

1. Butter 飼育に依る鼠の肝 Glykogen の増量

Butter を飼料として飼育した A 群の鼠の体重増加は第2表の如し, 即ち10日間にして平均 3.7gr の体重の増加を認むる。不均等性 $i = \pm 19\%$ なり。

対照実験として Butter の代りに小麦粉を与えた B 群の鼠の体重増加は第3表の如く 10 日間に平均 2.6gr の増量を認むる。

第 1 表

A		B	
バター	70gr	澱粉	70gr
カゼイン	10 "	カゼイン	10 "
マツカラム塩	2 "	マツカラム塩	2 "
オリザニン	5 "	オリザニン	5 "
ビオステリン	0.5 "	ビオステリン	0.5 "

第 2 表

日 動 数 物	0	2	4	6	8	10	増 減
No. 1	77.3	78.0	78.2	79.1	79.7	79.9	+2.6
" 2	74.8	75.3	76.5	77.1	77.3	78.1	+3.3
" 3	78.0	76.8	78.4	79.3	81.5	81.3	+4.3
" 4	76.2	76.5	77.8	78.0	79.1	80.8	+4.6
" 5	75.5	76.1	77.6	78.0	78.6	79.4	+3.9
平 均	76.2	76.5	77.7	78.3	79.6	79.9	+3.7

不均等性 $i = \pm 24.6\%$ なり

第 2 表, 第 3 表より求めた A, B 両群の成長量を%で表せば第 4 表の如し。

第 4 表の値より標準方程式を作つて計算した百分比生長係数の値は次の値を示して明かに A 群の生長が良好なる事を示した。

成長係数 $K_a = 0.449$ $K_b = 0.343$

第 4 表を図示すれば第 1 図の如くである。

次に A, B 2 群の鼠を屠殺 Glykogen を測定すれば第 4 表の如く A 群の平均 16.9% にして B 群の平均 1.38% なり。

然して A 群に於ける不均等性は $\pm 14\%$, B 群に於ける不均等性は $\pm 8\%$ なり。

2. 飢餓時に於ける脂肪酸及び Glycerin 投與に依る肝 Glykogen 量

イ) 飢餓時

飢餓時に於ける鼠の肝 Glykogen 量を測定するに第 6 表の如き結果を得た。即ち, 最大量 0.268%, 最小量 0.219%, 平均値 0.246% にして, 不均等性は $\pm 7.8\%$ なり。

ロ) 酪酸曹達

酪酸 Na, 1gr を皮下に注射した場合の肝 Glykogen 量は第 7 表の如し, 即, 最大量 0.631%, 最小量 0.483% にして平均値 0.540%, 不均等性は $\pm 9.3\%$ なり。(第 7 表)

ハ) Capron 酸曹達

Capron 酸曹達 1gr を皮下に注射した場合の肝 Glykogen 量は第 8 表の如し。即, 最大量 9.716%, 最小量 0.604%, 平均値 0.683% にして不均等性は $\pm 6.0\%$ なり。(第 8 表)

ニ) Capril 酸曹達

第 3 表

日 動 物 数	0	2	4	6	8	10	増 減
No. 6	76.5	78.6	78.5	79.5	79.7	80.0	+3.5
" 7	77.3	77.5	78.2	78.5	78.8	79.0	+1.7
" 8	77.5	78.1	78.8	79.4	79.2	81.0	+3.5
" 9	75.0	75.3	75.6	75.6	27.1	78.2	+3.2
平 均	76.6	77.4	77.8	78.3	78.7	79.6	+3.0

第 4 表

日 群 数	0	2	4	6	8	10
A	0	0.39	1.98	2.76	3.98	4.86
B	0	1.04	1.57	2.25	2.74	3.88

第 5 表

動 物 群	A	動 物 群	B
No. 1	1.53	No. 6	1.28
" 2	1.64	" 7	1.58
" 3	1.48	" 8	1.34
" 4	1.65	" 9	1.21
" 5	2.15	" 10	1.43
平 均	1.69	平 均	1.37
不均等性	$i = \pm 14\%$	不均等性	$i = \pm 8\%$

第 6 表

動 物 群	Glykogen 量
No. 11	0.251
" 12	0.228
" 13	0.263
" 14	0.268
" 15	0.219
平 均	0.249
	$i = \pm 7.8\%$

第 1 図

同様に Capril 酸 Na, 1gr を皮下に注射した場合の肝Glykogen 量は, 最大量 0.72%, 最小量 0.637%にして, 平均値 0.678%, 不均等性は $\pm 4.9\%$ なり。(第6表)

ホ) Caprin酸曹達

Caprin 酸 Na を皮下に注射した場合の肝Glykogen 量は, 最大値0.812%, 量小値0.676%にして平均値0.752%, 不均等性は $\pm 7.3\%$ なり。(第10表)

ヘ) Laurin 酸曹達

Laurin 酸 Na を皮下に注射した場合の肝 Glykogen 量は最大値 0.953%, 最小値0.896%平均値0.924%不均等性 $\pm 2.5\%$ なり。(第11表)

ト) Myristin 酸曹達

Myristin 酸 Na を皮下に注射した場合の肝 Glykogen 量は最大0.781%, 最小0.678%, 平均0.782%, 不均等性 $\pm 52\%$ なり。(第12表)

チ) Palmitin 酸曹達

Palmitin 酸 Na を皮下に注射した場合の肝 Glykogen 量は最大値0.427%, 最少値 0.354% にして, 平均値 0.385%, 不均等性 $\pm 7.3\%$ なり。(第13表)

リ) Stearin 酸曹達

Stearin 酸 Na を皮下に注射した場合肝 Glykogen量は最大値 0.321%, 最少値 0.223%, 平均個 0.281%, 不均等性 $\pm 14\%$ なり。(第14表)

ヌ) Olein 酸曹達

Olein 酸 Naを皮下注射した場合の肝 Glykogen 量は最大値1.263% 最少値 0.914%にして平均値 1.035%不均等性 $\pm 9.4\%$ なり。(第15表)

第 7 表

動物	Glykogen 量
No. 16	0.542
" 17	0.631
" 18	0.507
" 19	0.537
" 20	0.483
平均	0.543
	$i = \pm 9.3\%$

第 8 表

動物	Glykogen 量
No. 21	0.604
" 22	0.709
" 23	0.716
" 24	0.703
" 25	0.681
平均	0.683
	$i = \pm 6.0\%$

第 9 表

動物	Glykogen 量
No. 26	0.705
" 27	0.688
" 28	0.642
" 29	0.637
" 30	0.720
平均	0.678
	$i = \pm 4.9\%$

第 10 表

動物	Glykogen 量
No. 31	0.782
" 32	0.794
" 33	0.676
" 34	0.812
" 35	0.698
平均	0.752
	$i = \pm 7.3\%$

第 11 表

動物	Glykogen 量
No. 36	0.905
" 37	0.953
" 38	0.919
" 39	0.948
" 40	0.896
平均	0.924
	$i = \pm 2.5\%$

第 12 表

動物	Glykogen 量
No. 41	0.728
" 42	0.698
" 43	0.781
" 44	0.758
" 45	0.678
平均	0.728
	$i = \pm 5.2\%$

第 13 表

動物	Glykogen 量
No. 46	0.354
" 47	0.361
" 48	0.427
" 49	0.369
" 50	0.405
平均	0.385
	$i = \pm 7.3\%$

第 14 表

動物	Glykogen 量
No. 51	0.321
" 52	0.310
" 54	0.269
" 55	0.223
平均	0.281
	$i = \pm 14\%$

第 15 表

動物	Glykogen 量
No. 56	1.086
" 57	0.975
" 58	0.914
" 59	1.264
" 60	0.935
平均	1.035
	$i = \pm 9.4\%$

第 16 表

動 物	Glykogen 量
No. 61	0.318
" 62	0.291
" 63	0.287
" 64	0.332
" 65	0.188
平 均	0.283
	$i = \pm 17.7\%$

第 17 表 (A)

脂 肪 酸	番 号	臭 化 物	二臭化物	四臭化物	六臭化物	八臭化物
脂 肪 酸	1	33.4664	29.4118	1.2848	0.5030	2.2946
	2	34.6984	30.1026	1.1704	0.6490	2.7764
	3	34.1110	29.5086	1.3398	0.5698	2.6664
	平 均	34.0912	29.6736	1.2628	0.5742	2.5872
磷 脂 質 脂 酸	1	16.9510	14.1416	1.2892	0.5522	0.3938
	2	16.3746	13.6774	1.4850	0.6270	0.3872
	3	16.7200	14.1944	1.4706	0.5324	0.3278
	平 均	16.6704	14.0118	1.3816	0.5698	0.3696

ル) Glycerin

Glycerin を皮下に注射した場合の肝Glykogen量は、最大値 0.332%, 最小値0.188%, 平均値0.283% にして、不均等性は $\pm 17.7\%$ なり。(第 16 表)

3. 高度不飽和脂肪酸投与に依る鼠の肝 Glykogen 量

1) Butter 中の不飽和脂肪酸量

Butter 中の不飽和脂肪酸を測定した結果は、第 17 表A及び第 18 表Bの如し。

即 (A) は Butter 100gr 中の脂肪酸及び磷脂質脂酸の臭化物量を%で表し、(B)は総臭化物に対する各臭化物を%で表したものである。

Butter 中脂肪脂酸の臭化物総量は、平均 34.091%にして之を細別すれば、二臭化物の平均 29.6736%, 四臭化物の平均 1.2628%, 六臭化物の平均 0.5742%, 八臭化物の平均 2.5872%なり。

又、磷脂質脂肪の臭化物の総量は平均 16.

6704%, 二臭化物の平均 14.0118%, 四臭化物は平均 1.3816%, 六臭化物平均 0.5698%八臭化物平均 0.3696%なり、尙、第 18 表 (B)は之等各臭化物を総臭化物の百分比で表したものである。即、脂肪脂酸の大部分は二臭化物にして平均値 87.08%が八臭化物にして平均 7.23%, 四臭化物の平均は 3.71%, 最も少きは六臭化物の平均 1.68% である。

又、磷脂質脂肪の大部分は二臭化物にして平均 84.38%, 次が四臭化物にして平均8.31%, 六臭化物の平

第 18 表 (B)

脂 肪 酸	番 号	二臭化物	四臭化物	六臭化物	八臭化物
脂 肪 酸	1	87.89	3.84	1.51	6.86
	2	86.76	3.37	1.87	8.00
	3	86.58	3.93	1.67	7.82
	平 均	87.08	3.71	1.68	7.23
磷 脂 質 脂 酸	1	84.73	7.61	3.25	2.32
	2	83.53	9.11	3.83	2.36
	3	84.89	8.20	2.95	1.96
	平 均	84.38	8.31	3.34	2.21

第 19 表

	Olein 酸	Linol 酸	Linolein 酸	Arachidon 酸
脂 肪 脂 酸	18.9911	0.5935	0.2125	0.8020
磷 脂 質 脂 酸	8.9676	0.6494	0.2108	0.1146
合 計	27.9587	1.2429	0.4233	0.9166

均 3.24%, 八臭化物の平均は 2.21% なり。此の臭化物量より各種不飽和脂肪酸量を計算すれば第 19 表の如くである。

即, Butter 中には脂肪酸に属する「Olein酸」18.9911%, 「Linol酸」0.5935%, 「Linolein酸」0.2125%, 「Arachidon酸」0.8020% 存在する。又, 磷脂質に属する「Olein酸」27.9587%, 「Linol酸」1.2429%, 「Linolein酸」0.4233%, 「Arachidon酸」0.9166% 存在する。

脂肪脂酸及び磷脂質脂酸中の不飽和脂酸各々の合計は「Olein酸」27.9587%, 「Linol酸」1.2429%, 「Linolein酸」0.4233%, 「Arachidon酸」0.9166% なり。

2) 不飽和脂肪酸投与に依る鼠の

第 20 表

第 21 表

第 22 表

肝 Glykogen 量

投与した不飽和脂肪酸は Butter に含有する主なる不飽和脂肪酸即, Linol 酸, Linolen 酸, Arachidon 酸を飢餓時の鼠の体重 10kg に対し夫々計算量の 7.74mgr, 2.66mgr, 5.78mgr を注射し, 5 時間後に屠殺, 肝 Glykogen 量を測定した。尙, 実験に供したる鼠の体重は 80gr にして雌性のものを選んだ。

イ) Linol 酸 62mgr を皮下に注

動物	Glykogen 量
No. 66	0.214
" 67	0.256
" 68	0.239
" 69	0.258
" 70	0.217
平均	0.237
	$i = \pm 9.2\%$

動物	Glykogen 量
No. 71	0.227
" 72	0.246
" 73	0.210
" 74	0.285
" 75	0.231
平均	0.239
	$i = \pm 10.6\%$

動物	Glykogen 量
No. 76	0.223
" 77	0.249
" 78	0.240
" 79	0.192
" 80	0.256
平均	0.232
	$i = \pm 9.9\%$

射し, 3 時間後の肝 Glykogen 量を見るに第 20 表の如し。即, 最大値 0.258%, 最少値 0.214%, 平均値 0.237% にして平均等性は $\pm 9.2\%$ なり。

ロ) Linolen 酸 21mgr を皮下に注射し, 5 時間後の肝 Glykogen 量を見るに第 21 表の如し。即, 最大値 0.285%, 最少値 0.210%, 平均値 0.239%, 不均等性 $\pm 10.6\%$ なり。

第 23 表

ハ) Arachidon 酸 46mgr を皮下に注射し, 5 時間後に肝 Glykogen 量を測定するに第 22 表の如し。即, 最大値 0.256%, 最少値 0.192%, 平均値 0.232%, 不均等性 $\pm 9.9\%$ なり。

綜 括

1) Butter 含有量 70% の食飼で鼠を飼育すれば 10 日間で平均 3.7gr の体重増加を認め, Butter の代りに澱粉を加えた基本食では 10 日間で平均 2.6gr の体重増加を認むる。即, Butter 食の方が遙に澱粉より秀れて居る。

2) Butter 食の鼠の肝 Glykogen 量は平均 1.69% にして, 澱粉にて飼育した鼠の肝 Glykogen 量 1.38% より遙かに多し。故に Butter 中の脂肪は Glykogen に移行するものなり。

脂 肪 酸 塩	平均 Glykogen 量
飢 餓 時	0.246 %
Stearin 酸 Na	0.309 "
Palmitin "	0.385 "
酪 酸 "	0.540 "
Capril 酸 "	0.673 "
Capron "	0.683 "
Myristin "	0.728 "
Caprin "	0.752 "
Laurin "	0.924 "
Olein "	1.035 "

第 24 表

表	脂肪酸塩	C数Rn	平均値 $\bar{a}\%$	不均等性 $\pm i\%$
6	飢 餓 時	0	0.246	7.8
7	酪 酸 Na	3	0.540	9.3
8	Capron "	5	0.683	6.0
9	Capril "	7	0.678	4.9
10	Caprin "	9	0.752	7.3
11	Laurin "	11	0.924	2.5
12	Myristin "	13	0.728	5.2
13	Palmitin "	15	0.385	7.3
14	Stearin "	17	0.281	14.0
15	Olein "	19	0.035	9.4
16	Glycerin		0.283	17.7
20	Linol 酸	17n-4	0.237	9.2
21	Linolein酸	17n-6	0.239	10.6
22	Arachidon酸	17n-2	0.232	9.9

第 2 図

第 3 図

3) Butter に含有する脂肪酸塩及び Glycerin の中、最も肝 Glykogen の増量を来すものは 1.035% の Olein 酸 Na にして増量を認めざるものは Stearin 酸 Na の 0.309% 及び Glycerin の 0.28% なり。平均値を表示すれば第23表の如し。これを図示すれば第2図の如し。尙、脂肪酸の Alkil 炭素数と Glykogen 増加との関係を表示すれば第 24 表の如し。之を図示すれば第3図の如き線を画く。

4) Linol 酸, Linolein 酸, Arachidon 酸は Butter 中に夫々 1.2429%, 0.4233%, 0.9166% 含有するも鼠 1 匹 1 日を脂肪食で飼育するに充分なる Butter 中に含有する Linol 酸, Linolein 酸及び Arachidon 酸を鼠に注射するも毫も Glykogen 量の増量を認めず。

5) 脂肪酸より糖に移行する脂肪酸は Olein 酸以外総て飽和脂肪酸にして、Glykogen の増量と脂肪酸の C の数との間には何等かの関係あるものの如し。(第3図参照)

文 献

- 1) Chauvean u. Kaufmann. C. r. Acad. Sci. Paris, 103, 974 [1886] Citr. Physiol. Pev. 10, 349, [1930]
- 2) Kroh u. Lindhard, Bioch. J. 14, 290 [1920]
- 3) Mering, Z. f. Klin. Med. 15, 431 [1889]
- 4) Moritz u. Pransnitz, Z. f. Biol. 27, 81 [1890]
- 5) Burn u. Marks. J. Physiol. 61 497 [1926]
- 7) Lewis u. Huber, J. Biol. Chem. 75. 715 [1927]
- 8) Gregg. J, Nutrit. 4, 385 [1931]
- 9) Greisheimer, J. Nutrit. 4. 411 [1931]
- 10) Okii, J. Biochem. 20, 37 [1934]
- 11) 須藤: 医化学的微量測定法 4 版, P. 224
- 12) 尾崎: 農化 昭 7.8 [1286]
- 13) 三浦: J, Biochem. 29, 467 [1939]