食べ物の形態（固形食，粉末食，流動食）および週齢の違いが ラット血清と肝臓の脂質代謝に及ぼす影響

石橋源次*・松下佳代*・菊永茂司**

(*九州女子大学・**ノートルダム清心女子大学)

Effects of Food Types(Solid diet, Powdered diet and Liquid diet) on the Serum and Liver of Lipids Metabolism in Maternal, Suckling and Growing Rats

Genji Ishibashi*, Kayo Matsushita**, Shigeshi Kikunaga**

*Kyushu Women's University, 1-1, Jiyūgaoka, Yahatanishi-ku, Kitakyushu, 807-0867

**Notre Dame Seishin University, 2-16-9, Ifukuchou, Okayama, 700-0013

*〒807-0867 北九州市八幡西区自由ヶ丘1-1

**〒700-0013 岡山市伊福町2-16-9

This study was designed to investigate the effects of feeding three kinds of test diets(Solid, powdered and liquid types) on maternal rats and its effect on the serum and liver lipids metabolism of their 10 day old sucklings and 10 weeks old growing rats. These test diets were formulated such that the ratio of food components used was the same.

The maternal rats fed cholesterol-enrich solid diet exhibited lower total serum cholesterol and free-cholesterol, although serum HDL-cholesterol and triacylglycerol concentration were similar in the three groups (ie. solid, powdered and liquid type fed rats). The contents of liver cholesterol and triacylglycerol in three groups were not significantly different. Similar observation have been made comparing serum to total cholesterol levels in adult rats aged 10 weeks and suckling rats aged 10 days.

Fatty acids composition in stomach of sucklings born by solid diet fed maternal rats contained significantly higher percentage of oleic acid and unsaturated fatty acids than those fed with powdered or liquid diet.

The group fed with liquid diet gave the highest glucose and insulin levels, while group fed with solid diet demonstrated the least levels, and powdered diet fed group showed intermediate levels thus, suggesting that chewing of the solid diet determined the rate of absorption.

1. 緒言

「噛む」ことの重要性は、一般によく知られているが、食べ物の硬さや軟らかさが生体内栄養素の利用性に与え

る影響、とくに、脂質代謝との関連から追求した研究はあまりなされていない。

前報¹⁾において、同一栄養成分の食餌を、固形・粉末と食べ物の形態を変えると、固形食が粉末食に比べ血清

コレステロール濃度の上昇を抑制すること、また、皮下脂肪組織のリパーゼ活性が高くなり、固形食、すなわち「噛む」ことが脂質代謝（コレステロール）に関して、非常に好ましいという知見を報告した。

最近、軟らかい食品・食べ物が好まれる傾向にあり、また、高齢化に伴い流動食・ミキサー食やレトルト食品など液状に近い食べ物を摂取する機会が多くなっている。こうした食物摂取状況は、若年者でも同様の傾向にあり、軟らかい食べ物を摂取した場合、次世代にどのような影響を及ぼすか、今後の食生活における重要な課題の一つと考えられる。

母親の栄養状態、栄養摂取状況が胎児や新生児に及ぼす影響については、妊娠中のエネルギー制限やたんぱく質摂取不足あるいは過剰栄養状態など様々な条件からの検討がなされており、とくに中川²⁾の総説は注目に値する。しかし、母親が摂取する食べ物の形態の違い（軟らかいもの、硬いもの）に着眼し、新生児や成長した子供など世代への影響に関する報告はほとんど見あたらない。

そこで、食べ物を摂取する側の生理的条件（年齢・性別・世代）を考慮し、離乳直後より同一栄養成分組成で食べ物の硬さが異なる食餌でラットを飼育した場合、週齢・性別の違いおよび次世代（新生仔と成熟ラット）への影響を「咀嚼」ならびに脂質代謝との関連性を中心に検討を試みた。

2. 実験方法

(1) 実験動物

ウィスター系雄・雌ラットを九動動物飼育所より入手し1群7匹を用い、離乳直後より固形食、粉末食および流動食をラットに食餌として与え12週齢目に交配させた。生まれた10日目の新生仔を二世代目の新生仔ラットとした。離乳後、それぞれの食餌で飼育し、生後10週齢を経過したものを二世代目の成熟ラットとし実験に供した。一世代の母獣は、妊娠・出産・授乳を終了し、さらに3週齢を経過したものを実験に供した。食餌および飲料水は自由に摂取させ、飼育条件は前報¹⁾と同様に行った。飼育終了後、一昼夜絶食させ、ネンブタール麻酔下で心臓より採血し血清を分離した。新生仔の場合は、絶食させずに心臓より採血した。肝臓と大脳部（新生仔は除く）、新生仔については、胃と肝臓を摘出し、分析するまで-80℃に冷凍保存した。

(2) 食餌の調製

食餌組成は、乳カゼイン18%、ラード4%、大豆油4%、ミネラル混合（AIN-76配合）3.5%、ビタミン混合

（AIN-76配合）1.0%、塩化コリン0.15%、コレステロール0.5%、コール酸ナトリウム0.25%、 α -コーンスターチ5%、残りの63.6%はコーンスターチで調製し100%とした。粉末食と流動食は、水を加えずに30分間蒸し、下記の固形食と同様に通風加熱乾燥した。粉末食に蒸留水を加え、耳たぶの固さにし、これを30分間蒸したのち、2 cm × 2 cm × 2 cmの大きさに切断し、60℃で通風乾燥したものを固形食とした。硬さは簡易硬度計で測定し、8~13 kg/cm²であった。粉末食は蒸して加熱したもの、流動食は粉末食に同量の水を加えたものとした。

(3) 血清・肝臓および胃内脂質の分析

血清の総コレステロール、遊離コレステロール、トリアシルグリセロール、HDL-コレステロールおよび遊離脂肪酸の濃度は、市販キット（和光純薬製）を用いて測定した。

肝臓および胃内容物の脂質の抽出は、クロロホルム：メタノール = 2 : 1 (V/V) の溶液を用いるFolch法³⁾に準じて行い、肝臓の総脂質量を重量法にて測定した。抽出した脂質を10%-トライトン-100添加イソプロパノールに溶解し検液とした。この溶液について、総コレステロール、トリアシルグリセロール量を市販キット（和光純薬製）を用いて測定した。

(4) 脳および血清カテコールアミンの定量

血清1 ml中のカテコールアミンを50 mgの活性アルミナに吸着させ、洗浄後、0.4 Mの酢酸で解離し、フェリシアン化カリウムで酸化するトリヒドロキシインドール法⁴⁾で実施した。脳の場合は、大脳部500 mgを精秤し過塩素酸で除たんぱくした上清液をpH 8.6に調製したものを、血清と同様の操作で行った。分析には高速液体クロマトグラフィーを用いて行い、分析条件は次の通りである。機種：島津製作所LC-4A、カラム：CLC-ODS、移動相：クエン酸・アセトニトリル、検出器：蛍光分光光度計、波長：Em = 280 nm, Ex = 320 nmで分析した。

(5) 脳中 RNA・DNA の定量

脳中の核酸の抽出はSchneiderの方法で行い、RNAはオルシノール法、DNAはバートンの変法で行った⁵⁾。

(6) 血清・インスリン濃度および糖負荷試験

血糖の定量は市販のグルコーステストワコー（和光純薬製）で、血清中のインスリン濃度の測定は市販のインスリン測定キット（森永生科学研究所製）で行った。

糖負荷試験は、ブドウ糖溶液3 ml（ブドウ糖2 gを含む）をゾンデを用いて胃内に投与し、45分後に採血した。

(7) 血清中のたんぱく質の定量

血清総たんぱく質およびアルブミンの測定は市販のA

表1 母獣・新生仔および成熟ラットの血清と肝臓脂質濃度

	固形食	粉末食	流動食
血清			
総コレステロール (mg/dl)			
母獣	108±25	233±10 ^{a)}	224±6 ^{a)}
新生仔(雌)	76±12	96±18 ^{b)}	102±22 ^{a)b)}
成熟(雌)	114±16	280±29 ^{a)b)}	287±17 ^{a)b)}
HDL-コレステロール (mg/dl)			
母獣	58±7	51±5	25±7
新生仔(雌)	18±5 ^{b)}	17±5 ^{b)}	15±3 ^{b)}
成熟(雌)	23±4 ^{b)}	20±3 ^{b)}	24±7 ^{b)}
遊離コレステロール (mg/dl)			
母獣	14±2	29±4 ^{a)}	21±3 ^{a)}
新生仔(雌)	20±3	27±8	33±9
成熟(雌)	13±1	39±10 ^{a)}	42±8 ^{a)b)}
トリアシグリセロール (mg/dl)			
母獣	89±3	78±8	84±8
新生仔(雌)	33±6 ^{b)}	49±5 ^{b)}	55±7 ^{b)}
成熟(雌)	43±10 ^{b)}	52±9 ^{b)}	51±6 ^{b)}
遊離脂肪酸 (mEq/l)			
母獣	0.69±0.09	0.54±0.10	0.58±0.07
新生仔(雌)	0.11±0.02 ^{b)}	0.16±0.07 ^{b)}	0.21±0.06 ^{a)b)}
成熟(雌)	0.26±0.06 ^{b)}	0.46±0.11 ^{a)}	0.42±0.06 ^{a)b)}
肝臓			
総脂質 (mg/g)			
母獣	259±19	324±27 ^{a)}	389±38 ^{a)}
新生仔(雌)	91±11 ^{b)}	98±9 ^{b)}	90±10 ^{b)}
成熟(雌)	193±21 ^{b)}	202±13 ^{b)}	204±12 ^{b)}
コレステロール (mg/g)			
母獣	59±12	63±17	67±14
新生仔(雌)	2.1±0.2 ^{b)}	2.1±0.1 ^{b)}	2.7±0.2 ^{b)}
成熟(雌)	71±15	69±12	69±11
トリアシルグリセロール (mg/g)			
母獣	32±7	99±10 ^{a)}	132±10 ^{a)}
新生仔(雌)	22±5	28±7 ^{b)}	21±4 ^{b)}
成熟(雌)	32±8	29±3 ^{b)}	34±5 ^{b)}

a) 固形食に対して有意差があり (p<0.01)

b) 母獣に対して有意差あり (p<0.01)

3. 実験結果

／Gテストワコー（和光純薬製）で実施した。

(8) 胃内脂肪酸組成

Folch 法で抽出した脂質について、アルカリ加水分解した後、三フッ化ホウ素でメチル化したものを前報⁶⁾と同様にガスクロマトグラフィーを用いて分析した。

(9) 摂食時間の測定

一昼夜絶食させた後、各試験食 5 g を与え完全に食べ終わるまでの時間を観察した。

(10) 統計処理

結果は、Student's t-test を用いて各群間の有意差 (p<0.01) の検定を行った。

(1) 母獣・新生仔・成熟ラットの場合（世代）

母獣・新生仔および成熟ラットの血清・肝臓の脂質組成を表1に示した。

表示はしていないが、各試験群の食餌摂取量、排泄量はほぼ同量となり、糞便の状態も同じようであった。また、たんぱく質と脂質について消化吸収率を測定したが、いずれも固形食、粉末食および流動食で差異は認められなかった。

母獣の血清総コレステロール濃度は固形食<粉末食<流動食となり、固形食と比較して粉末食および流動食の方が有意に濃度の上昇が認められた。一方、新生仔の腸

表2 成熟ラットの血清・肝臓脂質濃度に及ぼす食餌の形態と性別の影響

	固形食	粉末食	流動食
体重 (g)			
雄	238±18	209±20	200±14
雌	179±13 ^{b)}	179±12 ^{b)}	168±7 ^{b)}
肝臓 (g)			
雄	10.9±1.1	12.1±1.2	10.6±0.7
雌	8.0±1.1 ^{b)}	9.0±0.3 ^{b)}	8.6±0.7 ^{b)}
血清			
総コレステロール (mg/dl)			
雄	99±12	248±22 ^{a)}	238±27 ^{a)}
雌	96±16	280±29 ^{a)}	287±17 ^{a)}
HDL-コレステロール (mg/dl)			
雄	32±2	24±3	23±1
雌	23±1	20±1	24±2
遊離コレステロール (mEq/dl)			
雄	14±2	29±4 ^{a)}	21±3 ^{a)}
雌	13±1	39±8 ^{a)}	42±7 ^{a)b)}
トリアシルグリセロール (mg/dl)			
雄	31±3	52±4 ^{a)}	56±5 ^{a)}
雌	32±2	57±4 ^{a)}	72±2 ^{a)b)}
遊離脂肪酸 (mg/l)			
雄	0.25±0.03	0.54±0.08 ^{a)}	0.41±0.08 ^{a)}
雌	0.26±0.05	0.46±0.11 ^{a)}	0.42±0.06 ^{a)}
肝臓			
総脂質 (mg/g)			
雄	177±16	197±15	167±8
雌	193±21	202±13	204±12
コレステロール (mg/g)			
雄	59±6	72±8	67±4
雌	71±15	69±12	69±11
トリアシルグリセロール (mg/g)			
雄	35±11	41±6	30±1
雌	32±8	29±3	34±5

a) 固形食に対して有意差あり (p<0.01)

b) 雄に対して有意差あり (p<0.01)

合は、76~102mg/dlとなり固形食に比べ粉末食・流動食で高くなる傾向を示しているが、母獣よりも総コレステロール濃度が低くなった。母獣が高いコレステロール濃度の場合、新生仔も高くなりほぼ同様の傾向を示し、世代をへても同じような結果となった。

成熟ラットの血清コレステロール濃度は母獣と同様であり、固形食と比較して有意に粉末食・流動食の方が高い濃度を示した。しかも、粉末食と流動食は母獣の血清コレステロール濃度よりも高くなった。母獣の血清HDL-コレステロール濃度は各試験群で51~58mg/dl、成熟ラットで20~24mg/dlとなり母獣に比べ仔の方が低い濃度であった。遊離コレステロール濃度は、母獣・成熟の粉末食・流動食摂取に比べ固形食の方が有意に高い濃度になった。また、遊離コレステロール濃度は母獣と成熟ラットとも固形食で低い濃度となった。

血清トリアシルグリセロール濃度は母獣に比べ新生仔・成熟ラットの方で低くなっているが、母獣・新生仔・成熟ラットともに食餌の形態による違いは認められなかった。

遊離脂肪酸は母獣と比較し成熟ラットの方が低く（粉末食を除いて）っており、また、成熟ラットの場合は食餌形態の違いで差異があった。

母獣の肝臓脂質量は、固形食259mg/g、粉末食325mg/g、流動食389mg/gとなり、固形食で最も低い肝臓の脂質量となり食餌形態による差が認められた。しかし、新生仔・成熟ラットの場合は、食餌形態の違いによる肝臓脂質量に差異は現れなかった。肝臓重量当たりになると、母獣の肝臓脂質量が新生仔・成熟に比べ高い濃度となった。母獣・成熟の肝臓コレステロール濃度は、ほぼ同様の濃度（59~71mg/g）となり週齢、食餌形態

表3 脳・血清中カテコールアミンおよび脳内 RNA・DNA 量

	固形食	粉末食	流動食
脳重量 (g)			
母獣	1.27±0.13	1.35±0.11	1.33±0.10
成熟・雄	1.16±0.06	1.16±0.11	1.24±0.07
成熟・雌	1.21±0.03	1.14±0.08	1.16±0.11
カテコールアミン 血清 (η g/dl)			
母獣	121±38	131±16	141±27
成熟・雄	122±16	168±41 ^{a)}	158±30 ^{a)}
成熟・雌	124±18	194±28 ^{a)b)}	196±12 ^{a)b)}
脳 (η g/g)			
母獣	152±26	169±38	167±27
成熟・雄	63±3	61±8	65±8
成熟・雌	31±6 ^{b)c)}	23±2 ^{b)c)}	27±1 ^{b)c)}
RNA・脳 (mg/g)			
母獣	2.66±0.12	2.42±0.18	2.77±0.23
成熟・雄	2.07±0.16 ^{b)}	2.07±0.06 ^{b)}	2.31±0.14 ^{b)}
成熟・雌	1.55±0.11 ^{b)c)}	1.27±0.05 ^{a)b)c)}	1.63±0.07 ^{b)}
DNA・脳 (μ g/g)			
母獣	202±18	184±17	192±19
成熟・雄	101±7 ^{b)}	88±15 ^{b)}	80±5 ^{b)}
成熟・雌	148±10 ^{b)c)}	138±15 ^{b)c)}	115±13 ^{b)c)}

a) 固形食に対して有意差あり ($p < 0.01$)b) 母獣に対して有意差あり ($p < 0.01$)c) 雄に対して有意差あり ($p < 0.01$)

の違いおよび母獣と成熟ラットの違いは認められなかった。しかし、新生仔の全肝臓中のコレステロール量は母獣・成熟ラットよりも低く2.0~2.7mg/肝臓となった。

母獣の肝臓トリアシルグリセロール濃度は、総脂質と同様の傾向を示した。すなわち、固形食で最も低く、ついで粉末食となり流動食が最も高い濃度であった。一方、成熟および新生仔の場合は食餌形態の違いによる影響は現れず、固形・粉末・流動食ともにほぼ同様の濃度であった。

(2) 性別の場合

雄・雌の血清・肝臓脂質濃度は表2に示す通りである。体重および肝臓重量は雌に比べ雄の方が重くなっているが食餌形態の違いによる差は認められなかった。血清総コレステロール濃度は雄・雌ともに粉末食・流動食に比べ、固形食で有意に低くなった。また、雌の方が粉末食と流動食で雄よりもコレステロール濃度が若干高くなっているが有意差は認められなかった。血清の遊離コレステロール濃度は総コレステロール濃度と同様の傾向を示した。

肝臓中の総脂質量は、いくぶん雄の方が雌よりも低くなっているが有意差は認められなかった。また、固形・粉末および流動食ともに同様の肝臓脂質量となり、食餌形態による差異は認められなかった。このように、血清

コレステロール濃度は雄と雌とでは濃度に差が認められたが、肝臓中のコレステロール、トリアシルグリセロール濃度のいずれも食餌形態および性別による差異は認められなかった。

(3) 血清・脳内カテコールアミン量および脳内 RNA・DNA 量

生体活性の指標となる血清・脳内カテコールアミンおよび脳内 RNA, DNA 量を母獣と成熟ラットについて測定し、その結果を表3に示した。母獣の場合、血清カテコールアミン量は食餌形態による差はないが、成熟ラットの固形食は粉末食・流動食に比べ低い濃度になった。また、雌の粉末食・流動食は雄に比べ高い濃度となり、性別による差が認められた。母獣・成熟(雌)ラットの脳内カテコールアミン濃度は食餌形態による違いは認められなかった。しかし、血清と同様に雄の脳内カテコールアミン量は雌に比べて高い濃度になった。また、血清・脳内カテコールアミン量は、いずれの試験群も成熟ラットに比べ母獣の方が高くなった。

細胞数およびその活性度の指標となる脳内 RNA 量は、固形食・粉末食・流動食ともにほぼ同じような量となり、食餌形態の違いによる差はなかった。しかし、雌の方が雄に比べ低くなり、性別の違いが脳内 RNA 量に差異があることが分かった。親の DNA 量は各試験群で

表4 インスリン・血糖値および糖負荷試験

	固形食		粉末食		流動食	
	雄	雌	雄	雌	雄	雌
血糖値 (mg/dl)						
0分	82±6	75±5	68±4	85±7	79±6	73±7
45分後	183±12	161±9	195±15	156±13 ^{b)}	203±18	174±8 ^{b)}
インスリン (pg/dl)						
0分	1000±75	950±80	1220±55	1560±85 ^{b)}	1870±90 ^{a)}	1150±75 ^{b)}
45分後	4650±250	4700±320	3950±180	4800±150 ^{b)}	5900±210 ^{a)}	4925±200 ^{b)}
母獣		1492±186		2250±207 ^{a)}		2850±250 ^{a)}

a) 固形食・粉末食に対して有意差あり (p<0.01)

b) 雌に対して有意差あり (p<0.01)

ほぼ同じ濃度になっているが、成熟の場合は、固形食の濃度が高く、流動食で低い濃度となった。脳内 RNA および DNA 量はカテコールアミンと同様に母獣と比較して成熟ラットの方がいずれも低い濃度であった。

(4) 糖負荷試験

成熟ラットを用いた糖負荷試験の場合の血糖値とインスリン濃度は表4に示すような結果となった。

空腹時血糖値は各試験群で72~85mg/dlとなり、食餌形態および性別による差は認められなかった。糖負荷45分後の血糖の上昇は71~127mg/dlとなり、各試験群間で上昇値に明らかに差が認められた。すなわち、雌に比べ雄の上昇量が高くなる傾向を示し、さらに、固形食に比べ粉末・流動食で高値であった。また、雌の場合その上昇値は、流動食が固形食よりも有意に高った。空腹時のインスリン濃度は雌・雄ともに固形食に比べ粉末・流動食で高くなる傾向を示した。糖負荷試験後のインスリン濃度は空腹時に比べ明らかに上昇し、粉末・流動食で性別による違いが認められた。また、雌の場合は固形・粉末および流動食ともほぼ同様な上昇値であった。しか

し、雄の場合は固形食に比べ粉末食で低く、流動食で高い上昇値となった。

(5) 新生仔の場合

新生仔の肝臓・血清および胃内容物の脂質量は表5に示す通りである。体重、肝臓および胃内容物重量は固形食、粉末食および流動食ともほぼ同じ重量となり差は認められなかった。肝臓および胃内容物中の脂質量は結果からも明らかなように各試験群で差は認められなかった。肝臓および胃内容物中のコレステロール濃度はほぼ同じとなった。しかし、血清コレステロール濃度は固形食に比べ粉末食・流動食で有意に高い濃度となった。

表6に新生仔の胃内容物の脂肪酸組成を示した。固形食と流動食を比較すると、パルミチン酸の割合は流動食で最も高く、18:1は固形食で有意に高い割合になっていた。また、不飽和脂肪酸の割合は固形食で42.4%、粉末食38.1%、流動食で39.3%となり、固形食の方が粉末食・流動食に比べ高い割合となり、母獣の食餌形態の違いが現れた。

表5 新生仔の胃・肝臓脂質

	固形食	粉末食	流動食
体重			
重量 (g)	19.3±1.2	16.6±4.3	18.9±1.2
肝臓			
重量 (mg)	477±52	464±52	525±69
肝臓/体重 (%)	2.87±0.29	2.80±0.31	2.77±0.48
脂質 (mg/肝臓)	91±11	98±13	90±12
コレステロール (mg/肝臓)	2.1±0.2	2.4±0.7	2.7±0.2
胃			
全内容物 (mg/胃)	445±55	381±50	480±49
脂質 (mg/胃)	173±23	177±81	163±20
コレステロール (mg/胃)	1.8±0.1	1.7±0.1	1.8±0.4
血清			
コレステロール (mg/dl)	76±8	96±10 ^{a)}	102±12 ^{a)}

a) 固形食に対して有意差あり (p<0.05)

表6 胃内の脂質酸組成 (%)

炭素数	固形食	粉末食	流動食
8 : 0	0.8±0.1	0.6±0.1	0.7±0.1
10 : 0	8.1±0.2	9.5±1.1	6.6±0.7 ^{a)}
12 : 0	9.4±0.5	11.0±0.7 ^{a)}	8.5±0.4
14 : 0	10.9±0.8	11.8±1.0	11.1±0.3
16 : 0	23.4±1.0	24.0±8	28.8±0.2 ^{a)}
16 : 1	4.2±0.1	4.3±0.2	4.4±0.2
18 : 0	4.0±0.1	3.8±0.2	4.3±0.3
18 : 1	25.8±0.7	24.0±0.1 ^{a)}	23.5±0.8 ^{a)}
18 : 2	11.1±0.5	9.6±0.3	10.3±0.2
48 : 3	1.3±0.2	0.8±0.3	1.1±0.1
その他	1.0±0.1	0.3±0.1	0.8±0.1
不飽和脂肪酸 (%)	56.6	61.0	60.0
飽和脂肪酸 (%)	42.4	38.9	39.3

^{a)}固形食に対して有意差あり (p < 0.01)

(6) 食餌摂取時間

一昼夜絶食させた後、5 gの各食餌を与え完全に食べ終わるまでの時間を測定すると、固形食は90±10分間、粉末食20±5分間および流動食30±7分間となり、「咀嚼」時間に違いが認められた。

4. 考 察

食餌は、同一栄養分組成で食餌の形態を固形食、粉末食および流動食で22週間飼育した場合、固形食の血清総コレステロール濃度が低下しており、前報¹⁾および三浦⁷⁾と同様の結果となった。また「咀嚼」を必要としない流動食の方がより高い濃度となり、「咀嚼」することがコレステロール代謝に深く関わっていることが示唆された。この母獣から生まれた新生仔の血清コレステロール濃度は母獣より低濃度であったが、固形食摂取の母獣の仔よりも、流動食摂取の母獣の仔で高くなり、成熟ラットの場合は母獣、新生仔ラットと同様のコレステロール濃度となった。しかし、粉末食および流動食は母獣よりも高い濃度となった。このように、世代を経ても、母獣の血清脂質を反映することが分かった。食餌性脂肪とコレステロールにより誘導された母体が高コレステロール血症状態および授乳期間中に高コレステロール食を摂取した場合に、乳中のコレステロール濃度は高くなる。その結果、仔のコレステロール摂取の増加をきたすものと推察される。すなわち、母体の血清コレステロール濃度が高いと新生児の血清コレステロール濃度も高くなるという同様の報告がいくつかなされている^{8), 9), 10)}。また、新生仔期の食餌がその後の生体の脂質代謝に影響することが知られており、母獣の食餌及びその硬さの状態が脂質代謝に対して世代を経ても発現することが理解された¹¹⁾。

さらに、雄・雌のいずれも固形食に比べ粉末食と流動食の方が血清コレステロール濃度が高く、また、雄よりも雌の方が高濃度という性別による応答が認められた。この結果は、おそらくホルモンによる影響が大きいものと考えられる。一方、肝臓中のコレステロール濃度は母獣と仔とでは濃度差はあるが、食餌形態による違いは認められなかった。このことは、雄・雌とも同程度の量となり、性別の違いも現れなかった。新生仔の場合、肝臓中のコレステロール量が少ないことは、高濃度であると新生児にとっては障害になることも考えられるが、成長期であり細胞成長のために利用されること、また、肝臓における合成能が成熟ラットに比べ低いことが、低濃度になっている原因として推察される。母体の血清コレステロール量は、肝臓のコレステロール濃度にあまり影響を及ぼさないことが数多く報告されており、同様の結果となった^{9), 10)}。血清コレステロールの上昇する理由は、コレステロールの吸収、すなわち、糞中排泄コレステロール量が各試験群とほぼ同じであることから、次のようなことが推察される。

空腹時における血清インスリン濃度は母獣、成熟ラットともに固形食で最も低く、次いで粉末食となり、流動食が高い濃度となっている。リンゴを生リンゴ、リンゴピューレー、リンゴジュースにし、本実験と同様に摂取する形態を変えるとリンゴジュースでインスリン濃度が最も高くなり、生リンゴが最も低濃度になるという知見がある¹²⁾。また、血糖の上昇は精白米で高くなり、インスリン濃度は血糖に応答し、血糖値が高い精白米に比べ玄米の方が血糖・インスリン濃度が低くなるとの報告もある¹³⁾。

また、5 gの各食餌を与え完全に食べ終わるまでの時間が固形食で最も長くかかっており、それに対応してインスリンの分泌量が固形食の方で低くなるものと推察される。空腹時のインスリン濃度は硬い食餌が低く、軟らかい食餌で高くなった。インスリンは脂質代謝に対して脂肪合成の促進、脂肪の分解の抑制および肝臓におけるコレステロールの合成を促進することが知られている¹⁴⁾。肝臓コレステロール量は各試験食群ともほぼ同量であることから、肝臓で合成されたコレステロールは肝臓に貯留することなく、循環系に輸送され、その結果、粉末食と流動食で血清コレステロール濃度が高くなったと考えられる。

生体はストレスがかかると、恒常性の維持のために貯蔵していたカテコールアミンを分泌して対応する。さらに、ストレスが持続する場合、副腎皮質で合成が盛

んとなり血液に分泌される。本来、ラットは齧歯類であるので硬いものを好む性質があり、本実験のように粉末食や軟らかい流動食は硬い食餌に比べラットにとってはストレッサーになっている可能性も推測される。そのため、血清カテコールアミン濃度が固形食に比べ粉末食と流動食で高くなったと思われる。硬いチューインガム「咀嚼」時には、カテコールアミンの分泌が高くなり、リパーゼ活性を増加させる。その結果、血液中遊離脂肪酸濃度は上昇し、エネルギー生産に代謝を亢進させ、脂質代謝に深く関与している^{15), 16)}。血清カテコールアミンがストレスにより上昇し、それに伴い血清のコレステロールが上昇するのと同様の報告があり¹⁷⁾、カテコールアミンはコレステロール代謝に対しても深く関与していると思われる。

母母乳について脂質の分析を行うのが妥当であるが、今回、新生仔の胃内容物を母母乳として考察を試みた。流動食の乳中コレステロール量が最も高くなり母母乳の血清コレステロール濃度の影響を受けた¹⁸⁾。胃内乳脂の脂肪酸組成については、試験食油として大豆油あるいはDHAを投与すると、胃内乳脂の脂肪酸組成は異なり食餌脂肪酸の影響をうけるとの報告があり¹⁹⁾、本実験の方が炭素鎖長10~16の飽和脂肪酸の割合が高くなる。これは、用いた試験食油が大豆油とラードの混合物のためであろう。一方、食物の物理的性状は消化・吸収に影響を及ぼし、とくにトリアシルグリセロールの消化吸収は、グリセロールに結合する脂肪酸の位置および組み合わせの違いによっても異なり、パルミチン酸が2位に結合しているトリアシルグリセロールは、消化過程で生じた2-パルミチン酸モノグリセロールが乳化特性に優れているために遊離脂肪酸の吸収が促進されることなどが知られている²⁰⁾。今後、グリセロールに結合する脂肪酸についても検討する必要があると思われる。脂肪酸の割合は初乳と成熟乳では変化し、初乳で多価不飽和脂肪酸の割合が多くなる²¹⁾。また、母親の摂取する食事内容でも変化し、高炭水化物食で低級脂肪酸、高脂肪食で高級飽和脂肪酸の割合が高くなるといわれる²²⁾。このように乳中の脂肪酸組成は母母乳の栄養状態や摂食法などの影響を受けるものと思われる。

以上の結果より、血清コレステロール濃度は軟らかい食餌で高くなり、硬い食餌でコレステロール濃度の上昇は抑制されるが、肝臓コレステロール濃度は食餌の硬さや軟らかさによる影響は現れないようである。また、親の食餌摂取形態の違いが仔の脂質代謝に影響を及ぼし、このことは世代をへても現れることが分かった。

今後、我々が食している日常食および摂取する食餌形態を交互に替えた場合(固形食→流動・粉末食, 粉末食→固形・流動食, 流動食→固形・粉末食)や摂取する食餌の形態が免疫能や生理機能に及ぼす影響について検討したいと考えている。

5. 要 約

この研究は、3種類の食餌形態(固形食, 粉末食, 流動食)について、それぞれ異なる食餌を摂取した母母乳が産した仔および性別などに及ぼす影響について脂質代謝を中心に検討した。食餌は同一食品成分割合で作製したものをを用いた。

固形食摂取の母母乳ラットは血清総コレステロール濃度の上昇が抑制され、また、新生仔、成熟ラットとも母母乳の影響を受け母母乳と同じように固形食で低く、流動食で最も高くなった。

血清インスリンおよびカテコールアミン濃度は、母母乳と成熟ラットともに粉末食と流動食に比べ、固形食で低い濃度となった。

本研究は文部省科学研究費基盤研究(C)(課題番号, 11680146, 研究代表者 石橋源次)の補助を受けて行われたものである。

引用文献

- 1) 石橋源次, 松下佳子, 菊永茂司: 食生活学会誌, **10**, 63~66 (1999)
- 2) 中川一郎: 栄養誌, **35**, 323~331 (1982)
- 3) Folch, J. Lees, M. and Slons-Stanley, G. H: *J. Biol. Chem.*, **226**, 497~502 (1957)
- 4) 日本生化学会編: アミノ酸代謝と生体アミン, 725~735 (1986)
- 5) W. C. Schnierder: *J. Biol. Chem.*, **154**, 747~761 (1946)
- 6) 石橋源次: 栄養誌, **37**, 553~557 (1984)
- 7) 三浦麻子, 藤本乃布子, 中川靖枝, 辻啓介: 52回日本栄養・食糧学会講演要旨集, 102, (1998)
- 8) Marth P. McMurry, William E. Connor, and Clifford P. Goplerud.: *Metabolism*, **30**, 869~879 (1981)
- 9) P. M. Kris-Etherton, Donald K. Layman. and Ivan D. Frantz.: *J. Nutr.*, **109**, 1244~1257 (1979)
- 10) Betty, J. Whatley, Joanne B. Green and Michael H. Green.: *J. Nutr.*, **111**, 432~441 (1981)
- 11) Lee, C. and Chow, B. F.: *J. Nutr.*, **87**, 439~446 (1965)
- 12) Haber, G. B., K. W. Heaton, D. Murphy: *Lancet* **2**, 679~683 (1977)
- 13) Kerin O' Dea, Paul J. Nestel and Lynne Antonoff: *Am. J. Clin. Nutr.*, **33**, 760~765 (1980)
- 14) Paola Costelli, Luciana Tessitore, and Sandra Dessi: *J. Nutr.*, **129**, 700~706 (1999)

- 15) 石山育朗, 鈴木政登: 5 回日本咀嚼学会抄録集, **10**, (1994)
 - 16) Steen B. Pedersen, Jens F. Bak, and Palle Holck.: *Metabolism*, **48**, 461~464 (1999)
 - 17) Friedman: *Circulation*, **17**, 852~861 (1968)
 - 18) Robert A. Gibson. and Garry M. Kneebone.: *Am. J. Clin. Nutr.*, **34**, 252~257 (1981)
 - 19) 金沢文子, 渡辺ゆかり, 杉本智美, 藤本健四郎: 栄食誌, **48**, 173~180 (1995)
 - 20) Small, D. M.: *Annu. Rew.*, **11**, 413~420 (1991)
 - 21) Tak Yee Aw and Murray R. Grigor.: *J. Nutr.*, **110**, 2133~2140 (1980)
 - 22) Barrowman. J. A. and Dannton, A. J.: *Gastroenterology*, **59**, 13~21 (1970)
-