

ステアリン酸の代謝

デビッド・クリチエフスキー

(アメリカ・ウイスター研究所教授)

まず、ステアリン酸を中心に話を展開したい。ステアリン酸はココアバターの主たる成分であるが、チコレートを考えるときに必要な新しい知見を紹介したい。この脂肪酸についてはココアバター自体を取り上げてみたい。

ヒトにおける脂肪の消化・吸収系をみてみるとわれわれがトリグリセリドを摂取した場合、一および三位の脂肪酸は遊離するが、二位の脂肪酸はそのままで吸収されることに注目したい。約七十二%はそのまま維持されるということである。

この二位の脂肪酸のかんりの部分が保持されることがいちばん重要な点であり、つねにトリグリセリドの一部として、最終的にリンパ管を通して血液、そして組織にまで運ばれるわけである。ココアバターでは二位にオレイン酸が、パルミチン酸とステアリン酸が二位と三位に入っている構造が主体となっている。

なぜ、このような分布が重要かというと、吸収された後の運搬形態であるカイロミクロンの径が

トリグリセリドの構造と大いに関係があるからである。例えば、トリオレイン(ООО)を摂取した場合、カイロミクロンの径は二三〇nmであるが、ООРの場合では一四九である。そして、このような径の違いがカイロミクロンの代謝に影響するわけである。

この点に関し、非常に新しい、しかも重要なことを指摘したい。それは、コレステロールの運搬体である低密度リポタンパク(LDL)、すなわち悪玉コレステロールについても一連の大きさを異にする粒子があり、径が大きくなるとトリグリセリドの含有量が多くなる。そして、径が大きくなるにしたがってアテローム誘発性が少ないということである。つまり、より重たいLDLは危険因子であるわけである。このことは、脂肪の代謝、ひいては心臓病に関するわれわれの理解をたぶん変えなければならぬ要件かもしれない。この種の研究の重要性に十分留意する必要がある。

さて、脂肪酸の消化率についてはすでに五〇年前に研究がなされてきている。Hoaglandと

Snyderの一九四三年の報告によると、ピュアなトリステアリンは消化率は六%程度にすぎない。しかし、トリパルミチンは八〇%以上の消化率である。一方、ステアリン酸の消化率は一〇%前後であるのに対し、パルミチン酸では三八%程度の消化率である。したがって、パルミチン酸の場合には、トリグリセリド態にすると、消化率がいくらかよくなるが、ステアリン脂肪酸の場合には差は認められず消化率は非常に低い。

Cathoilによる一九五八年の研究でも同じ結果が出されている。すなわち、飽和脂肪酸の消化係数はその鎖長が長いほど低くなるが、二重結合が一つ入ると消化率が著しく上昇した。

非常に興味深い研究がMatsonにより報告されている。ここでは、亜麻仁油を硬化し、吸収率を測定している。亜麻仁油を完全に硬化するとほぼトリステアリンになる。いま、サフラワー油にいろいろな割合でこの硬化油を添加していくと、無添加の場合には九六・七の係数が得られるが、硬化油の割合が増すにしたがい係数が下がっていく。一〇〇%硬化亜麻仁油の場合では一五%という低値であった。後述するが、このような混合油をランダム化して調べてみると、消化の程度が多少上がってくる。というのは、トリグリセリドの構成が違ってくるからである。

脂肪の消化吸収はカルシウムによって大いに影響を受ける。Matsonらは、まず食事中に十分

なカルシウムとマグネシウムが含まれることによって消化率が低下することを示している。この理由はカルシウム、マグネシウムが遊離ステアリン酸とともに排泄されるためである。たとえばOSOの場合、ステアリン酸の消化率は九七・八%であるが、SOOでは五五%であった。そして一、三のポジションにあるSOSでは三七%であった。それに比べ、カルシウムとマグネシウムがない場合には、一と二のポジションのステアリン酸のほうがより消化率がよく、六〇と七〇という数になっている。このように、ステアリン酸の吸収を低下させるためにはカルシウムとマグネシウム、とくにカルシウムが必要であるということになる。ステアリン酸の機能を高めるためにカルシウムが必要であり、また吸収を低下させるために必要であるわけである。

日本からも青山らによって最近同じような結果が出されている。この実験では、ココアバターや一、三位あるいは一、二位にパルミチン酸を含むトリグリセリドを用い比較している。一と二のポジション、その結果、ここで吸収係数はココアバターだけの場合よりカルシウムのある場合が低く、糞便の中に排出された量が多くなるわけで、Mattsonらの結果と一致している。

次に吸収パターンについての研究を紹介する。パークステインとの研究で、ラットにトリステアリン、トリステアリン+トリオレイン、またはト

リステアリン+トリパルミチン酸を摂取させ、腸管リンパ液のフローを測定した。その結果、摂取脂肪の種類にかかわらず、リンパ液のフローは一定で同じであった。つまり、トリステアリンがリンパフローを変化させることによって、吸収に変化をもたらす要因ではないということである。しかし、リンパのトリグリセリド中では、トリステアリンの場合低い。しかし、トリオレインやトリパルミチンとミックスした場合にはトリグリセリドのアウトプットはかなり上昇してくる。

つまり、トリステアリン摂取では、トリグリセリドの約二〇%がリンパに分泌され、トリステアリン+トリオレインでは六〇%以上に達する。トリステアリンとトリパルミチンの場合にも四〇%以上である。このように、トリステアリンは他の脂肪に比べそれほど早く代謝輸送されないということである。

ラットにトリオレインまたはトリステアリンを摂取させ、胃と盲腸との間の小腸を四つの同じ長さで切断し、それぞれの内容物中のラベルを測定してみると、トリオレインの場合にはすでに小腸最上部でかなり消化されていて、これより下の部分ではほとんど検出されない。トリステアリンの場合にはかなりの部分がまだ小腸のすべての部分に残っている。つまり、トリステアリンはそれほど速やかに吸収されないわけである。別の研究で、いろいろな脂肪がコレステロールの吸収にど

のように影響するかが調べられている。この場合にも、コーン油に比べココアバターではコレステロールの吸収率がかなり低い。また、トリオレインに比べトリステアリンでコレステロールの吸収は明らかに低い。

以上のように、ステアリン酸は飽和脂肪酸であるにもかかわらず、そしてすべての脂肪酸はだいたい一分子あたり九個あると言われているが、吸収率から見ると、そのような値にはならないことが明らかである。

Feldmanの古い研究で、ラットに対してトリステアリン、トリオレイン、そしてサフラワー油の飼料を与え脂肪酸の吸収が調べられている。この研究で二つのことが指摘された。まず、吸収率を三つの異なる測定法で測定した結果、それぞれが異なる値が出ている点である。つまり、二重ラベル法では糞便中のステロイド排出量による方法と比較した場合には多少値が低い。一方、リンパ中での回収率から求めた場合よりもいくらか値が高い。しかしながら、どの方法によっても基本的にはトリステアリンの吸収率がもともと低いことには変わりはない。

ハーシーの研究で行われた研究では、コーン油とココアバターの消化率がラットを用いて測定されている。食餌脂肪のレベルを変えて消化率を求めてみると、五%の場合には、コーンオイルでは九二%が消化されているが、ココアバターでは

約五八%であった。一〇%レベルではコーンオイルで九六%、ココアバターで六〇%となった。二〇%では、コーンオイルは九六%が吸収されたにもかかわらず、ココアバターの場合には七一%になっている。ここでもステアリン酸が多い脂肪は他の脂肪酸を含む脂肪と同じような吸収率にはならず、それほど吸収はされないことが明らかである。

亀井らの日本での最新の研究では、対照食、あるいはそれにコレステロールを〇・五%添加した食餌を与えている。そして、二五%あるいは五〇%水素添加大豆油と比較している。この水添脂肪はステアリン酸を多く含んでいて、水添の程度が高いほど高くなっている。したがって、どの程度食餌が実際に吸収されているかということを示す飼料効率にはより強く水添した大豆油を与えられたグループのほうが低い。血清コレステロール濃度は強度水添油群で低く、かつHDLコレステロールは有意に高い。糞便中の脂質も非常に高く、かなりの部分が吸収されていないことがわかる。

カンザス州立大学のWangとKooは、カルボキシル基を標識したステアリン酸、またミリスチン酸、ラウリン酸がどのように処理されるかをラットで調べている。つまり、ステアリン酸は吸収されるが、利用法に違いがあることになる。そして、肝への取り込みを見てみるといちばん取り込みが少ないのがミリスチン酸で、ステアリン酸は

いちばん高く取り込まれることが示された。

さて、トリグリセリドを見てみると、やはりここでも取り込みが少ないのがミリスチン、そしてラウリンとステアリン酸についてだいたい同じ程度であることが示された。ところが、主要な取り込みがみられるリン脂質では、ステアリン酸はもっとも効率的に取り込まれる。この点はリン脂質が構造脂質であるので大変関心があるところである。つまり、比較的細胞中で安定なリン脂質に取り込まれるからである。

さて、このような脂肪の人の食事、そしてアテローム形成における役割を考えてみよう。一九六五年、二つのグループ、HegstedとKeysが種々の食事を与えたとくにヒトを対象とした研究から実験的回帰式を提示した。これらの式で、 HDL 、 LDL と TC はともに血清コレステロールの濃度に対し、飽和脂肪酸はコレステロールを上げ、多価不飽和脂肪酸は下げるということを示した。そして異なる脂肪を使って、どの程度これらの式にフィットするかが調べられた。そしてこの式の中にうまく嵌めることができなかった一つの脂肪がココアバターであった。そしてその結果として、ステアリン酸はコレステロール値の上昇に関しては飽和脂肪酸であるにもかかわらず中立的なものであると結論づけられた。

先にランダム化について述べたが、代謝という面からは、二位に結合している脂肪酸がもっとも

重要であるといえる。このランダム化というプロセスは脂肪を塩基で処理し、すべての脂肪酸が一〜三位にまったく同じ割合で分布するようにするプロセスである。筆者らは飽和脂肪酸の動脈硬化への影響をウサギを対象として行ってきた。そして脂肪の種類によつて影響が異なってくるということが示唆された。

つまり、たとえばラウリン、ミリスチン酸、パルミチン酸あるいはステアリン酸を多く含む脂肪が高コレステロール血症やアテローム形成にどのように関わるのかわかるのではないかと考えられた。そしてそれを行うための唯一の方法は純粋なトリグリセリドを使ってコーンオイルとランダム化することであった。その結果、ラウリン酸一九%、ミリスチン酸一八%、パルミチン酸三〇%、あるいはステアリン酸二三%を含むトリグリセリドを調整することができた。

二一%コレステロールを添加したために、血清中のコレステロール値を見ると非常に高く、有意な差は認められなかった。アテローム形成についてもほとんど同じになっているが、ステアリン酸が多い脂肪の場合にはアテローム形成の程度はやや低めで、コーン油の場合よりわずかに高いにすぎなかった。

Hegstedもほとんど同じ脂肪を使いヒトについて非常によく似た結果を得ている。つまり、ヒトに対してランダム化した脂肪を与えたところ、

とくに脂肪酸の特異的な効果は認められなかったことから、トリグリセリドの構造が非常に重要な意味を持つとし、筆者らの結論とまったく同じであった。

次に、ココアバターを使って同じような研究を行った。一つの実験ではココナツ油、ココアバター、コーン油の効果を比べた。ここでもウサギに二%のコレステロールを六〇日間給与したもので、血清コレステロール値は大変高く、しかも差はない。

一方、平均的なアテローム形成を見てみると、ココアバター群ではココナツ油群よりもずっと低く、コーン油と同程度であった。ここでもやはり、ココアバターはわれわれが飽和脂肪酸として予想するような挙動を示さないことが認められた。次にコレステロールを含まない純化食を九ヵ月間給与した。ココアバターは飽和度としてはココナツ油に近いが、動脈硬化の程度はコーン油に類似していた。

脂肪の吸収を乳児を対象として行った研究で、七種の異なる脂肪が使われた。ラード・バター・アット・ココナツ油の混合物、人乳脂肪、オレオ油、ピーナツ油、パーム油、ココナツ油、大豆油、オレオ油（マーガリン）、バター、などについて調べられた。そして、パルミチン酸、ステアリン酸、オレイン酸について、トリグリセライドの二位に結合している割合をみると、母乳で

はパルミチン酸が二位に一九%あるが、ステアリン酸は二位に〇・五%しか存在しない。この研究では各脂肪酸の吸収を総脂肪酸の吸収率と関連させて検討された。その結果、総脂肪酸としてはオレイン酸はラウリン酸やミリスチン酸と同様に速やかに吸収され、パルミチン酸の場合には時間がかかるが、かなりよく吸収される。ステアリン酸は吸収速度は遅く、かつ吸収の程度ももっとも低かった。

一方、二位の脂肪酸の吸収をみると、ステアリン酸の場合にはまったく吸収されない。主としてオレイン酸、パルミチン酸が吸収されている。つまり、ココアバターの構造が脂肪の吸収率を低下させていることになる。

若い男性を対象とした最近の実験で、バター、ココアバター、オリーブ油、大豆油について検討されているが、ここでも二位の脂肪酸の重要性が示されている。バターの場合にはほとんどの飽和脂肪酸が二位に存在している。ココアバターの場合には八四%のオレイン酸が二位にあり、ステアリン酸は二%しか存在しない。このような脂肪を与えた結果、総コレステロールはバターで最も高い。そして牛脂、ココアバター、オリーブ油の順に低くなった。

ココアバターは牛脂よりも飽和度は高く、バターと同じぐらい飽和度があるにもかかわらず、ずっと高コレステロール血症的ではなかった。トリ

グリセリドではオリーブ油で低い以外大きな差はなかった。

悪玉といわれる低密度リポタンパクコレステロールは、バターでもっとも高い。牛脂では有意に低い。ココアバターの場合にはさらに有意に低い値であった。オリーブ油ではもちろん最低値であった。

善玉の高密度リポタンパクコレステロールは上昇させることはむずかしいわけであるが、とくに大きな変化は認められなかった。

別のヒトでの研究でベースラインの食事を与え、ステアリン酸の高い食事、あるいは低い食事のいずれかを二〇日間もしくは四〇日間給与した。総コレステロールは両脂肪で低下した。しかし、ステアリン酸が高く、飽和脂肪酸が高い脂肪食では四〇日後においても有意な低下が見られた。LDLも同様な低下を示したが、HDLはあまり変化しなかった。

最後に若い男性を対象とした実験の結果を示す。スナックとしてチョコレートバーを与え、同一カロリーの高炭水化物のスナックを与えた場合と比較したところ、総コレステロール値はチョコレートバーでも炭水化物の場合と同程度の低下が見られた。しかし、チョコレートバー群のほうがLDL/HDLの比が低くなった。

つまり、この成績から言えることは、チョコレートはコレステロール値を上昇させないので、チ

ヨコレートをスナックとして食べることを心配することは無いということである。繰り返すけれども、重要なポイントは、ココアバターは飽和脂肪酸であるにもかかわらず、通常の飽和脂肪のような挙動を示さないという点である。したがって、危険な脂肪であるとは見るべきではなく、あくまでも中立的な脂肪であるとみなしてほしいことである。