

204-m21 横田 由香里  
指導教員 岡村 浩嗣

キーワード : Spread 食、Pulse 食、高たんぱく質食、低たんぱく質食、窒素出納

### 【目的】

高齢者の加齢に伴う骨格筋損失を抑制する手段のひとつに、効果的なたんぱく質の摂取が挙げられる。一日分のたんぱく質量を食事ごとに重み付けを変えて摂取する Pulse 食は、毎食たんぱく質を均等割りにして摂取する Spread 食よりも、高齢女性と高齢ラットでたんぱく質合成をより高めることから、体たんぱく質の蓄積に有効な食べ方であると報告されている。このように目的に合わせて栄養素をより効果的に摂取することは、高齢者だけでなくアスリートでも重要視されている。IOC Consensus 2003 では食事の内容、量の他、タイミングを考慮することを勧めている。たんぱく質では運動後速やかに糖質と一緒に摂取することと述べられている。しかし、体たんぱく質合成をより効果的にする摂取パターンについては、学術的研究が少なく、未知であることから述べられていない。現在、日本の栄養教育では、栄養素をバランスよく摂取する方法として、1 日 3 食共にきちんと適度に食べることを勧めている。しかし、国民健康・栄養調査の結果などによると、必ずしも大多数の人が毎食均等に食べているわけではない。これら日本人の現状もふまえながら、本研究では成長期ラットを用いて、1 日に必要なたんぱく質の 60%以上を一度の食餌で摂取する Pulse 食と、25%ずつ 4 回の食餌で摂取する Spread 食のどちらが骨格筋成長に適した摂取パターンなのか検討した。

### 【方法】

4 週令の Wister 系雄ラット 18 匹を、① Spread 食群 (NN, たんぱく質を毎食均等に摂取)、②休息期 Pulse 食群 (LH, 休息期前に高たんぱく食を摂取)、③活動期 Pulse 食群 (HL, 活動期前に高たんぱく質食を摂取) の各群 6 匹ずつの 3 群に分け、8:00-20:00 を暗期、20:00-8:00 を明期とする明暗サイクル下で、1 日 4 食制 (8:00-9:00 (M8)、12:00-13:00 (M12)、16:00-17:00 (M16)、20:00-21:00 (M20) のミールフィーディングで 8 週間飼育した。Spread 食群には、AIN-93G 標準飼料 (N, たんぱく質比 17%) を与えた。休息期 Pulse 食群には M8、M12、M16 で低たんぱく質食 (L, たんぱく質 8%)、M20 で高たんぱく質食 (H, たんぱく質比 46%) を与えた。活動期 Pulse 食群には、M8 で H、M12、16、20 で L を与えた。1 日当たりのエネルギー及びたんぱく質の摂取量は全て

の群で等しくし、1 日の総たんぱく質摂取量に占める各食餌のたんぱく質量は N で 25%、L で 11%、H で 66%とした。飼育終了後、各種組織の重量、水分量を測定し、屠体と肝臓、腓腹筋はたんぱく質、総脂質、グリコーゲンの分析を行った。また、飼育開始直後と終了直前の 3 日間に採取した糞尿を用いて窒素排泄量を測定し、窒素出納を算出した。統計処理は、一元配置分散分析で有意差があった場合に、Fisher の PLSD 法で検定し、危険率 5%未満を統計学的に有意とした。

### 【結果】

体重は実験開始時、群間に差はなかったが (NN 72.0 g (SD 2.4)、LH 74.0 (2.3)、HL 73.0 (3.7))、屠殺時では NN (314.2 g (9.2)) より HL (287.0 (8.6)) は有意に低く ( $p = 0.0002$ )、LH (304.2 (6.9)) は低い傾向 ( $p = 0.06$ ) にあった。食事効率は NN (0.067 g BW gain/kcal (0.002)) より HL (0.060 (0.004)) が有意に低かったが ( $p = 0.04$ )、LH (0.065 (0.003)) は NN と差がなかった。採取した骨格筋 (腓腹筋、ヒラメ筋、足底筋、長指伸筋、前脛骨筋、中間広筋、大腿直筋、上腕二頭筋、腕橈骨筋) の合計重量は、NN (9.9 g (0.6)) に対し HL (9.1 (0.6)) で有意に低かったが ( $p = 0.04$ )、LH (9.5 (0.3)) とは差は見られなかった。体重 100gあたりの採取した骨格筋の合計重量には群間に差はなかった。(NN 3.16 g (0.16)、LH 3.12 (0.09)、HL 3.15 (0.14))。屠体のたんぱく質量は、NN (55.0 g (2.8)) が LH (51.5 (1.0)) と HL (49.4 (3.1)) よりも高く ( $p = 0.05$ )、及び水分量は NN (155.2 g (7.2)) と LH (147.2 (3.2)) が、HL (137.6 (8.2)) に対し有意に高かった ( $p = 0.0012$ )。総脂質とグリゴーゲン量には群間に差はなかった。飼育終了直前 3 日間の窒素排泄量は、HL が NN より有意に高く (NN 660mg (127)、LH 724 (96)、HL 784(63)) ( $p = 0.05$ )、窒素出納は、NN が HL より高い傾向にあったが NN と LH には差はなかった (NN 792mg (127)、LH 725 (98)、HL 671 (74)) ( $p = 0.06$ )。

### 【考察】

本研究では成長期ラットを用い、たんぱく質を毎食均等に摂取した Spread 食 (NN) と一食でまとめて摂取した Pulse 食 (LH、HL) を比較したところ、体重は NN、LH よりも HL が

低く、骨格筋重量は NN、LH、HL の順であった。しかし、内臓組織と骨格筋重量を体重 100gあたりに換算したところ 3 群間に有意な差は認められなかった。このことから、摂食パターンの違いは、成長期ラットの全般的な成長に影響しており、たんぱく質を一度の食餌でまとめて摂取する Pulse 食よりも、毎食均等に摂取する Spread 食が適していたことが示唆された。また、屠体のたんぱく質量は NN、LH、HL の順に高く、先行研究と一致しており、Pulse 食は成長期ラットの体たんぱく質の蓄積に有効でないことが示唆された。

骨格筋のたんぱく質合成は、骨格筋が利用できる血中アミノ酸濃度を増大させることで亢進し、筋肉たんぱく質合成は 2 時間をピークとしてその後低下することが報告されている。たんぱく質を毎食均等に摂取して、血中アミノ酸濃度を 1 日 4 回上昇させた NN は、血中アミノ酸濃度を 1 日 1 回急激に上昇させた LH、HL に比べて体タンパク質の合成が高かったことが考えられる。LH と HL の他の 3 回の食餌では、低タンパク質食を摂取したことから、この時の血中アミノ酸濃度の上昇が骨格筋のたんぱく質合成を高めるには不十分だった可能性も推察できる。また NN と LH は、20:00 から 21:00 にそれぞれ普通たんぱく質食、高たんぱく質食を摂取した後に休息することで、成長ホルモンが分泌されて体たんぱく質の合成が促されたことが考えられるのに対して、HL では活動期に高たんぱく質食を摂取したこと、休息期よりも成長ホルモンの分泌が少なかったために体たんぱく質の合成に利用されにくかったことが考えられる。

Pulse 食の摂取タイミングの違いでは、血漿アミノ酸濃度の最高値は高たんぱく質食の摂取タイミングによる差はないことから、活動期 Pulse 食と休息期 Pulse 食で体たんぱく質合成の刺激の回数と強さには差がない。しかし、体重と骨格筋重量は、HL が LH より低かった。すなわち、高たんぱく質食の摂取タイミングによって高たんぱく質食から供給されたアミノ酸の代謝経路が異なったためだと推察される。これは、活動期の高たんぱく質食から供給されるアミノ酸の一部は運動のためエネルギー源として消費されるため、骨格筋たんぱく質の合成に利用できる量が少なかったのに対して、休息期の高たんぱく質食から供給されるアミノ酸は運動のためのエネルギー源として消費される量が少ないため、より多くのアミノ酸が骨格筋たんぱく質の合成に利用された可能性が考えられる。このようなことから、成長期ラットでは活動期よりも休息期に高たんぱく質食を摂取することが骨格筋重量を含めた成長には望ましい可能性が示唆された。

窒素出納は、タンパク質が充足しているか不足しているかを評価する最も一般的な方法であり、たんぱく質の必要最小量を摂取した時に、窒素の摂取と排泄のバランスがとれ、窒素平衡が維持される。本研究では、NN、LH、HL の順にあり、HL は飼育開始直後の糞中窒素排泄量が NN、LH より高く、飼育終了直前の尿中窒素排泄量が NN よりも高かった。このことから HL は、飼育開始直後一度に多量に摂取したたんぱく質は吸収できずに糞中に窒素として排泄され、8 週間の飼育修了直前では食餌パターンに適応し、体内に吸収されたものの体たんぱく質の合成に利用できずに尿中に排泄されたことが推察される。また、一度に摂取するたんぱく質量が多いと、体たんぱく質合成に利用されなかつた余剰分は尿中窒素として排泄されることから、今回与えた高たんぱく質食のたんぱく質量は、一度の食餌では多すぎたことも考えられる。

筋肉たんぱく質バランスに対する栄養素摂取の影響は、摂取するたんぱく質量が多いか少ないかという単純なことだけではなく、もっと複雑な多くの要因（アミノ酸の種類や量、たんぱく質の消化特性、運動やその他の栄養素との摂取タイミング、そして総エネルギー摂取量等）によって調節され、筋肉や全身の同化作用に影響している。また、体たんぱく質の同化作用は、長期的には十分な量のエネルギーを摂取することが重要であると報告されている。

今回の食餌では、普通たんぱく質食、高たんぱく質食、低たんぱく質食全ての食餌でエネルギー量を等しくした。しかし、アミノ酸は糖質と一緒に投与すると尿中尿素窒素の排泄が減少することや、アミノ酸やたんぱく質を糖質とともに摂取すると体たんぱく質合成に利用されやすいことが報告されていることから、今後は食餌組成でたんぱく質量だけを增量するのではなく、それに合わせて糖質やエネルギー量を考慮し、增量することで、成長期ラットの Pulse 食での体たんぱく質の蓄積が亢進する可能性が推察される。

### 【結論】

今回の摂取パターンでは、Spread 食群の体重、骨格筋合計重量、屠体のたんぱく質量及び窒素出納が高かったことから、成長期ラットの骨格筋の成長には、たんぱく質を毎食均等に分けて食べる Spread 食の摂取パターンが Pulse 食の摂取パターンよりも適している可能性が示唆された。また Pulse 食のうち、活動期 Pulse 食は、休息期 Pulse 食よりも成長期ラットの骨格筋成長に適していない可能性が示唆された。