

キーワード:高たんぱく質食、運動、タイミング、筋肥大、腎機能

【緒言】

過剰に摂取したたんぱく質は、主として酸化されてエネルギー生産に使われ、筋肉合成には利用されないと考えられている。現在、筋肉たんぱく質合成に利用できるたんぱく質量は体重 1 kgあたり 2.0 g/日程度が上限とされている。しかし、この上限量は摂取タイミングを考慮して定められたものではない。

運動すると筋肉たんぱく質の分解が起こる。運動後は筋肉たんぱく質の合成と分解の両方が亢進するが、運動後にたんぱく質を含む食事を摂取すると合成が促進し分解が抑制される。また、たんぱく質を含む食餌を運動に近接したタイミングで摂取したほうが、運動から離れたタイミングで摂取するより、筋肉たんぱく質合成は高いことが報告されている。

そこで本研究では、運動後近接したタイミングで食餌を摂取すると、現在の上限量以上のたんぱく質でも筋肉たんぱく質合成に利用されるか、ラットで検討した。

【方法】

4 週齢の SD 系雄ラット 31 匹を、8:00-20:00 を暗期とする 12 時間の明暗サイクル下で飼育した。1 週間の予備飼育後、ラットを普通たんぱく質食 (N、たんぱく質エネルギー比率 18%) 摂取群と、たんぱく質の摂取許容範囲である 10~35% の上限に相当する高たんぱく質食 (H、たんぱく質エネルギー比率 35%) 摂取群に分け、それぞれの食餌群は、さらに非運動群 (S)、14:00 から運動する群 (14E、運動 4 時間後から摂餌)、18:00 から運動する群 (18E、運動後速やかに摂餌) に分けた。全てのラットに 8:00-10:00 と 20:00-22:00 の 2 食制下で、群間の体重に差がつかないように最も体重増加量の少ない群に合わせて給餌した。飲用水は自由に摂取させた。14E と 18E はクライミングケージで運動 (15-25 分 × 3 セット、3 日/週) させた。この実験条件で 8 週間飼育し、屠殺解剖した。

実験 7 週目に代謝ケージで飼育し、尿と糞を採取した。実験期間終了直前に筋力及び筋持久力の測定と血漿尿素窒素濃度の日内変動を測定するための採血を行った。採血は尾静脈より行い、6:00、12:00、18:00、24:00 の 4 点で実施した。

統計処理は二元配置分散分析で有意差が認められた場合に、Turkey-Kramer 法を用いて各群間の比較を行った。危険率 5%未満を統計学的に有意とした。

【結果】

①総摂取エネルギー量、食事効率

実験期間中にラットが摂取した総エネルギー量は H で N より多かった ($P = 0.011$)。体重増加量は群間に差はなかった。そのため、食餌効率は H で N より低かった ($P = 0.005$)。食餌効率に食餌摂取タイミングによる差は認められなかった。

②水分出納

飲水量と尿量は H で N より有意に多かった ($P < 0.001$) が、食餌タイミングによる差はなかった。水分出納は群間に差はなかった。

③窒素出納

窒素摂取量と尿中窒素排泄量は H で N より有意に多かった ($P < 0.001$)。糞中窒素排泄量には群間に差はみられなかった。その結果、窒素吸収量と窒素吸収率は H が N より高かった ($P < 0.001$)。窒素出納は H で N より高かった ($P = 0.001$) が、食餌タイミングによる差は認められなかった。

④組織重量

採取した骨格筋重量は H で N より小さいものが多く、ヒラメ筋 ($P = 0.031$) と足底筋 ($P = 0.010$) 及び長指伸筋 ($P = 0.044$) は有意に小さかった。骨格筋重量には食餌タイミングの影響が認められた。14E で S より小さいものが多く、足底筋 ($P = 0.022$)、前頸骨筋 ($P = 0.039$) は有意に小さかった。また、18E は 14E より大きいものが多く、腓腹筋 ($P = 0.047$)、足底筋 ($P = 0.037$)、長母指屈筋 ($P = 0.024$)、骨格筋合計重量 ($P = 0.033$) は有意に大きかった。長母指屈筋は 18E が S より大きかった ($P = 0.013$)。腎臓は H で N より大きかった ($P = 0.007$) が、食餌タイミングによる差はなかった。肝臓、小腸、副腎及び脂肪組織は群間に差はなかった。

⑤組織中水分量及びたんぱく質量

長母指屈筋の水分量及びたんぱく質量は重量と同様に、18E で S と 14E より有意に多かった。これらの値には N と H で差はみられなかった。また、長母指屈筋 1 gあたりの水分量及びたんぱく質量は群間に差はなかった。肝臓のたんぱく質

量は H で N より多い傾向にあった ($P = 0.081$) が、食餌タイミングによる差はなかった。肝臓 1 gあたりのたんぱく質量は H で N より有意に多く ($P = 0.002$)、14E で 18E より少なかった ($P = 0.034$)。肝臓 1 gあたりの水分量は H で N より少ない傾向が認められた ($P = 0.081$)。小腸の水分量及びたんぱく質量は、群間に差はなかった。

⑤血漿尿素窒素 (BUN) 濃度

BUN 濃度は、全ての時点において H で N より高く、曲線下面積 (AUC) は H が N より有意に大きかった ($P < 0.001$)。これらの値に食餌タイミングによる差はなかった。また、BUN は N では日内変動が小さかったのに対して、H では変動が大きく、18:00 に最も低値を示した。

⑥筋力及び筋持久力

筋力は、H で N より弱かった ($P = 0.007$) が、食餌タイミングの影響はみられなかった。筋持久力は H で N より弱い傾向があった ($P = 0.068$)。筋持久力は、S よりも 14E ($P < 0.001$) と 18E ($P < 0.001$) で高値であったが、14E と 18E には差はみられなかった。

⑦クレアチニクリアランス

尿中クレアチニン濃度は H が N より低かった ($P = 0.003$) が、尿中クレアチニン排泄量は H で N より多かった ($P = 0.005$)。血漿クレアチニン濃度は群間に差はなかった。クレアチニクリアランスは H で N より有意に高かった ($P = 0.010$) が、食餌タイミングによる差はみられなかった。

【考察】

窒素摂取量はたんぱく質エネルギー比率の高い H で多かったが、糞中窒素排泄量は H と N で差はなかった。そのため、H は N より窒素吸收量が多く、窒素吸收率も高かった。尿中窒素排泄量は H で N より多かったが、窒素出納は H で N より高かった。すなわち、H は N より窒素を多く尿中に排泄するが、体内に貯留した窒素も多かった。しかし、骨格筋重量は H が N より小さく、筋肉合成に望ましいとされている運動に近接した食餌タイミングで摂取しても、H が N より大きくなることはなかった。また、長母指屈筋のたんぱく質量は H と N で差はなく、H で N より多く貯留したたんぱく質は筋肉たんぱく質には利用されていないことが認められた。一方、肝臓のたんぱく質量は H で N より多かった。また、本研究では腎臓のたんぱく質量は分析していないが、腎臓重量が H で N より大きかったことから腎臓のたんぱく質量も H で多いことが推察された。さらに、血漿中尿素窒素濃度が H で N より高いことから、全身血液中の尿素窒素量は、H で N より多いことが推察された。これらのことから、H で N より多く体内に貯留した窒素は筋肉たんぱく質合成に利用されるのではなく、肝臓、腎臓、血液などに分布したことが示唆され

た。

骨格筋重量は運動後の食餌タイミングによって差が認められた。18E は 14E より大きいものが多く、長母指屈筋においては 18E が S と 14E より大きかった。また、長母指屈筋のたんぱく質量も重量と同様に、18E が S と 14E より多かった。これらの結果は、運動後速やかにたんぱく質を含む食品を摂取するほうが、運動から離れたタイミングで摂取するより筋肉たんぱく質合成が高いことを示唆している。また、H と N の骨格筋合計重量の差を比較した場合、その差は 18E で -0.8 % だったのに対し、S では -3.1 %、14E では -7.7 % であり、18E が S 及び 14E より小さかった。採取した他の骨格筋についても同様の結果が認められた。このことから、同じたんぱく質量でも運動せずに摂取する場合や運動から離れたタイミングで摂取する場合には骨格筋合成に利用されないたんぱく質が、運動後速やかに摂取することで利用されるようになったと考えられた。

高たんぱく質食を摂取することで懸念される健康障害に腎機能障害がある。腎機能が低下すると血漿クレアチニン濃度の高値がみられるが、本研究では N と H に差はなかった。また、クレアチニクリアランスは腎機能が低下すると低値を示すが、H で N より高値だった。これらの結果から、腎疾患は認められなかつたと考えられる。しかし、H では尿量が多いことから腎臓に負担がかかり、腎臓が肥大したと推察される。したがって、さらに長期的に高たんぱく質食を与えると腎臓に障害が現れる可能性が示唆された。

【結論】

高たんぱく質食を摂取した場合には普通たんぱく質食を摂取するより窒素出納は高かつたが、骨格筋重量は小さかった。しかし、運動から離れたタイミングで食餌を摂取した場合より、運動後速やかに摂取したほうが骨格筋重量を増大させる傾向にあった。さらに、高たんぱく質を運動せずに摂る場合や運動後離れたタイミングで摂る場合には筋肉たんぱく質合成に利用されなかつたたんぱく質が、運動後速やかに摂ることで筋肉たんぱく質合成に利用されるようになった。以上の結果から、運動による筋肥大に有効に利用されるたんぱく質の上限量は現在の量で十分であり、むしろ運動後なるべく近接したタイミングで食餌を摂取することが筋肥大にとって重要であることが示唆された。