

甲状腺除去鶏の骨格筋重量に及ぼす筋線維の数と径の大きさの影響

仁木隆博・信國喜八郎

九州東海大学農学部, 熊本県阿蘇郡長陽村河陽 869-1404

本実験は、甲状腺を除去した雄雛（白色レグホーン系コマーシャル）を用いて、甲状腺除去によってもたらされる骨格筋の重量増加抑制に対する筋線維の数と径の影響を検討するために行なったものである。供試雛は10~11日齢時に外科的に甲状腺を除去した。除去鶏は甲除（除去後甲状腺ホルモンを回復投与しないもの）、自家移植（除去した甲状腺を胸部皮下に自家移植）およびT₄投与（除去後L-サイロキシンを回復投与）の3群に分けた。

まず最初に、対照鶏と甲除鶏とで筋線維の総数が計測し易い頸二腹筋（*M. biventer cervicis*）を用いて、筋線維の数と径の大きさが筋重量に及ぼす影響を検討した。その結果、甲状腺除去によって頸二腹筋の重量は明らかに減少し、その筋線維径も著しく減少した。しかし、筋線維数は対照鶏と甲除鶏とで差はなく、顕著な変動は認められなかった。

つぎに、前肢部、体幹部および後肢部から主たる骨格筋を計13種選定し、筋肉重量と筋線維径の関係について検討した。その結果、甲除鶏の各骨格筋重量は自家移植鶏、T₄投与鶏より明らかに小さく、中でも烏口上筋（*M. supracoracoideus*）と大腿脛骨筋（*Mm. femorotibiales*）の重量の増加抑制は著しかった。また、筋線維径も甲除鶏は明らかに小さかった。しかしながら、自家移植鶏（1.0）に対する甲除鶏の筋肉重量の倍率の3乗根と筋線維径の倍率との間には有意な相関は認められず、重量の減少程度と径の減少程度は必ずしも呼応するものではなかった。

以上の結果から、甲状腺除去による骨格筋重量の増加抑制には、筋線維数よりむしろ筋線維径の減少が関与するものと推察された。しかしながら、この重量の抑制程度と線維径の減少程度は骨格筋の種類によっては必ずしも呼応しないことが示唆された。

キーワード：甲状腺ホルモン, 骨格筋重量, 筋線維数, 筋線維径, 甲状腺除去鶏

緒 言

骨格筋の重量は動物の成長にともない増加するが、この増加に関与する量的要因としては、筋肉を構成する筋線維の数、径の大きさおよび長さ、さらには筋肉内に蓄積する物質の量などが考えられる。このうち筋線維の数と径の大きさの関与についていくつか報告されている。鶏において、Smith (1963)、Moss (1968)、Mizuno and Hikami (1971) および菊地と玉手 (1982) は、ふ化後においては筋線維の径は増大するが、数が増加することはないことから、成長に伴う骨格筋の重量増加には筋線維径の増大が密接に関係すると報告している。さらに同様の報告がマウス (Rowe and Goldspink 1969) および豚 (Stickland *et al.* 1975) においてもなされている。

一方鶏において、幼雛時から甲状腺ホルモンが欠如す

ると、筋肉、骨および内臓の重量増加が抑制され、成長が遅れること、とりわけ筋肉の重量増加は著しく抑制されること (仁木と信國 1994b)、さらにこの抑制は、烏口上筋 (*M. supracoracoideus*)、大腿脛骨筋 (*Mm. femorotibiales*) をはじめとする主な骨格筋重量の増加抑制に基づくこと (仁木と信國 1998) が報告されている。この結果の一因として個々の骨格筋を構成する筋線維の数や径の大きさに甲状腺ホルモン欠如が影響を及ぼすことが推察される。しかし、甲状腺ホルモン欠如が鶏骨格筋の筋線維の数や径に及ぼす影響については十分検討されていない。

本実験では、甲状腺の除去によって生じた骨格筋重量の増加抑制に対する筋線維の数と径の大きさの関与を明らかにするため、実験Iとして、筋線維の総数が計測し易い頸二腹筋 (*M. biventer cervicis*) を用いて、甲状腺除去が筋線維の数と径の大きさに及ぼす影響およびその影響と重量との関係、実験IIとして、体各部の主たる骨格

筋 13 種において、甲状腺除去後の重量と筋線維径の大きさととの関連性について検討した。

材料および方法

〔実験 I〕

供試鶏：白色レグホーン系コマーシャル（デカルブ）雄雛 15 羽を用いた。

飼育方法：雛は初生から 28 日齢までは育雛器（ゴトウ育雛器製作所製）で常法に準じて飼育した。29 日齢から 44 日齢までは中雛バッテリーを、その後実験終了時まででは単飼ケージを用い、21~24°C、照明時間 14 時間（午前 5 時~午後 7 時）に調整された室で飼育した。飼料には市販の配合飼料（伊藤忠飼料製）を使用し、初生から 28 日齢まで幼雛用を、以後は中雛用を給与した。飼料の給与は毎日午前 9 時 30 分に行ない、水とともに自由に摂取させた。

実験区の設定および処理方法：対照、自家移植（摘出した甲状腺を自家移植）および甲状腺除去（甲除）の 3 区を設定した。雛は 10 日齢時に 2 つのグループに分け、一方のグループは 10~11 日齢時に Marvin and Smith (1943) の方法に準拠して甲状腺を摘出し、直ちに信國ら (1972) および仁木と信國 (1994a) の方法に従って前胸部皮下（胸筋 *M. pectoralis* 前部）に自家移植した。27~28 日齢時に甲状腺を摘出した部位を肉眼的に検査し、残存甲状腺が認められた場合は双極性凝固器（瑞穂医科工業製）で焼灼した。これらの雛の一部は移植甲状腺を除去し、甲除区として、残りは移植を継続し自家移植区として用いた。他のグループは対照区とした。なお、手術時の止血の際にはスポンジェル（山ノ内製薬製）を使用した。

解体および筋肉の採取方法：供試鶏は 71 日齢時にネブタール麻酔下で頸動脈を切断し、放血屠殺した。屠殺後直ちに剥皮し、頭部を環椎後頭関節で、脚部を足根間関節で切断後、剥皮屠体重量を測定した。その後素早く屠体をビニール袋に包んで氷水中にて 30 分間冷却した。冷却後、屠体を前肢部、体幹部および後肢部に分けたのち、直ちに供試筋として体幹部から頸二腹筋 (*M. biventer cervicis*) を摘出し、鶏体の右側の筋肉については重量を測定した。一方、左側の筋肉については筋線維の径および数の計測に供するため 10% ホルマリン液にて筋肉全体を自然に伸直させた状態で固定した。また、体幹部から内臓を摘出し、消化器官を分離し、その内容物をピンセットで丁寧に取り出し内容物重量を測定した。前述の剥皮屠体重量からこの内容物の重量を差し引いて剥皮体重とした。

筋線維の径および数の計測方法：供試筋については 1

週間固定後、2 時間水洗し、その後部筋腹中央部をおよそ 1 cm の長さに横断して整形し、ゼラチン包埋後 5% ホルマリン液中で 1 週間保存した。包埋した供試筋を軽く水洗したのち直径約 2 cm のろ紙の中央部に貼り付け、-20°C に設定したクリオスタット (Slee 社製) にて厚さ 15 μ m の横断切片を作製し、スタンブラック B 染色を施し、筋線維の径および数の測定に供した。

筋線維径は、中央部の断面積が最大の切片を選び、尾野らの方法 (1983) に準拠してその中央部の筋束で径の鮮明なもの 400 個について顕微鏡 ($\times 400$) にてマイクロメーターを用いて測定した。なお、筋線維径の測定は短径の最大部で行った。一方、筋線維数については、径を測定した切片につき顕微鏡 ($\times 20$) にて区分して写真撮影し、その写真を組み合わせて当該切片の横断面全体像の写真を作製したのち、数取器を用いて肉眼で測定した。

〔実験 II〕

供試鶏および飼育方法：白色レグホーン系コマーシャル（ハイセックス）雄雛 19 羽を用いた。雛の飼育方法、給与飼料の種類および給与方法は実験 I. と同じである。

実験区の設定および処理方法：対照、 T_4 投与（甲状腺除去後に L-サイロキシン (T_4) 投与）、自家移植および甲除の 4 区を設定した。甲状腺の自家移植および除去の時期および手術方法は実験 I にて述べたとおりである。

T_4 投与区には 31 日齢から 70 日齢まで毎日 1 回正常分泌率相当量の T_4 (1.0~1.5 μ g/100g bwt; Singh *et al.* 1968, 信國と岡本 1972) を 0.1~0.3 ml の容量で腹腔内に注射した。 T_4 (Sigma 社製) は、プロピレングリコールと 0.1 N NaOH を等量に混合した溶液にあらかじめ溶解したのち、蒸留水で所定の濃度まで希釈して使用した。なお、他区の鶏には T_4 の溶媒のみを注射した。

解体および骨格筋摘出方法：71~74 日齢時に各区の鶏を実験 I と同じ手順で屠殺、解体し剥皮体重を求めた。剥皮屠体については 30 分間冷却後、岩元と高原 (1971) の方法に準拠して前肢部、体幹部および後肢部の 3 部位に分け、それぞれの重量を測定した。その後、各部位の骨格筋および筋間脂肪を剥離して骨（髓、靭帯を含む）を摘出した。部位ごとに骨および筋間脂肪の重量を測定し、当該部位の重量からこれらの重量を差し引いて各部位の骨格筋重量とした。一方、個々の骨格筋について、前肢部からは胸筋 (*M. pectoralis*)、鳥口上筋 (*M. supracoracoideus*)、上腕二頭筋 (*M. biceps brachii*)、体幹部からは腹頸長筋 (*M. longus colli ventralis*) および背頸長筋 (*M. longus colli dorsalis*)、後肢部からは前腸脛骨筋 (*M. iliotibialis cranialis*)、外側腸脛骨筋・寛骨臼後部 (*M. iliotibialis lateralis pars postacetabularis*)、

後腸骨転子筋 (*M. iliotrochantericus caudalis*), 外側下腿屈筋 (*M. flexorcruris lateralis*), 恥坐大腿筋 (*M. puboischiofemorales*), 大腿脛骨筋 (*Mm. femorotibiales*), 腓腹筋内側部 (*M. gastrocnemius pars medialis*) および腓腹筋外側部 (*M. gastrocnemius pars lateralis*) の計 13 種を摘出し, 右側の各筋肉について重量を測定した。左側の各骨格筋については 10% ホルマリン液にて筋肉全体を自然に伸直させた状態に保ちながら固定した。

筋線維径の計測方法: 前述した 13 種の左側の各骨格筋について, 実験 I と同じ方法を用い, スダンブラック B にて染色した後, 筋線維径を計測した。

なお, 実験 I および II において甲状腺除去手術を施した鶏のうち, 解体時に甲状腺の残存組織が肉眼的に認められた個体については資料から除外した。また, 両実験の測定結果については, Student's *t* test により各区間で有意差検定を行った。

結 果

〔実験 I〕

剥皮体重, 頸二腹筋の重量, 筋線維数および筋線維径を表 1 に示した。剥皮体重は, 対照区と自家移植区との間で差はなかったが, 甲除区はこれら 2 区よりも明らか

に小さかった ($p < 0.01$)。頸二腹筋については, 重量では剥皮体重と同様に甲除区は他の 2 区より小さく, 有意差が認められた ($p < 0.01$)。しかし, 筋線維数では重量の変動とは異なり, 甲除区と他の 2 区との間で有意差は認められなかった。これに対して, 筋線維径は対照区と自家移植区とでは差はなかったが, 甲除区はこれら 2 区よりも明らかに小さな値を示し ($p < 0.01$), 重量の変動に対応する変動を示した。

〔実験 II〕

各区の剥皮体重, 前肢部, 体幹部, 後肢部の骨格筋総重量および各部位の主な骨格筋の重量について表 2 に示した。剥皮体重では, 対照区に比べて T_4 投与区および自家移植区はほぼ同じ値であったが, 甲除区はこれら 3 区よりも明らかに小さな値を示した ($p < 0.05$)。前肢部, 体幹部および後肢部の骨格筋総重量についても, 剥皮体重と同様に, 甲除区が他の 3 区より小さく有意差が認められた ($p < 0.05$)。

つぎに, 前肢部, 体幹部および後肢部の主な骨格筋の重量についてみると, 実測値では各骨格筋において, 対照区, T_4 投与区および自家移植区の間には差はなかったが, 甲除区はこれら 3 区よりも小さく, 有意差が認められた ($p < 0.05$)。一方, 相対重量 (各部位の骨格筋総量 100 g に対する個々の骨格筋重量) では, 烏口上筋および

表 1. 対照鶏, 甲状腺自家移植鶏および甲状腺除去鶏の頸二腹筋の重量, 総筋線維数および筋線維径

Table 1. Carcass weight, *biventer cervicis* muscle weight, number and diameter of the fiber in control (intact), thyroid autotransplantation and thyroidectomy groups

	実験区 Experimental groups		
	対照 Control	自家移植 Autotransplantation	甲状腺除去 Thyroidectomy
羽数 No. of birds	5	5	5
剥皮体重 (g) Carcass wt. (g)	734 ± 35 ^a	692 ± 62 ^a	461 ± 50 ^b
頸二腹筋重量 (g) Wt. of <i>M. biventer cervicis</i> (g)	0.37 ± 0.04 ^a	0.34 ± 0.09 ^a	0.19 ± 0.02 ^b
総筋線維数 Number of fiber	7324 ± 436 ^a	6938 ± 492 ^a	6670 ± 550 ^a
筋線維径 (μm) Fiber diameter (μm)	27.8 ± 1.2 ^a	26.2 ± 0.5 ^a	22.9 ± 0.9 ^b

羽数以外の値は平均値 ± 標準偏差。

Figures except the number of birds show mean ± SD.

剥皮体重は剥皮後の体重から頭部 (環椎後頭関節より上部), 脚部 (足根間関節より下部) および消化管内の内容物を差し引いた値。

Carcass wt. was evaluated by subtracting the head, feet (under metatarsal part) and digestive tract content weights from the skinned body weight

同列の平均値の異符号間に有意差あり ($p < 0.01$).

Means with different superscripts differ significantly in the same row ($p < 0.01$).

表 2. 対照鶏, T₄投与鶏, 甲状腺自家移植鶏および甲状腺除去鶏における前肢部, 体幹部および後肢部の骨格筋重量ならびに個々の骨格筋重量Table 2. Total and individual weights of skeletal muscles from forelimbs, body stem and hind legs in control (intact), T₄ injection after thyroidectomy, thyroid autotransplantation and thyroidectomy groups

	実験区 Experimental groups			
	対照 Control	T ₄ 投与 T ₄ injection	自家移植 Autotrans- plantation	甲状腺除去 Thyroid- ectomy
羽数 No. of birds	5	5	5	4
剥皮体重 (g) Carcass wt. (g)	644±36 ^a	645±37 ^a	644±19 ^a	506±41 ^b
前肢部骨格筋 (g) M. of forelimbs (g)	177.5±13.1 ^a	168.7±13.2 ^a	176.3±8.6 ^a	122.0±8.4 ^b
胸筋 (g) <i>M. pectoralis</i> (g)	38.6±4.0 ^a 21.7±0.8 ^a	37.3±2.9 ^a 22.1±0.2 ^a	39.0±2.3 ^a 22.2±0.9 ^a	27.2±2.6 ^b 22.3±1.2 ^a
烏口上筋 (g) <i>M. supracoracoideus</i> (g)	14.2±1.1 ^a 8.0±0.2 ^a	13.0±1.3 ^a 7.7±0.3 ^a	13.7±1.0 ^a 7.8±0.4 ^a	8.9±0.9 ^b 7.2±0.3 ^b
上腕二頭筋 (g) <i>M. biceps brachii</i> (g)	2.1±0.2 ^a 1.2±0.1 ^a	1.8±0.2 ^a 1.1±0.1 ^a	2.0±0.1 ^a 1.1±0.1 ^a	1.4±0.1 ^b 1.2±0.1 ^a
体幹部骨格筋 (g) M. of body stem (g)	59.7±1.8 ^a	59.0±4.7 ^a	59.3±1.1 ^a	40.7±1.9 ^b
腹頸長筋 (g) <i>M. longus colli ventralis</i> (g)	2.4±0.1 ^a 4.1±0.1 ^a	2.4±0.3 ^a 4.1±0.2 ^a	2.6±0.1 ^a 4.4±0.2 ^a	1.8±0.1 ^b 4.4±0.2 ^a
背頸長筋 (g) <i>M. longus colli dorsalis</i> (g)	2.5±0.2 ^a 4.2±0.2 ^a	2.5±0.3 ^a 4.2±0.5 ^a	2.5±0.2 ^a 4.2±0.3 ^a	1.7±0.1 ^b 4.1±0.2 ^a
後肢部骨格筋 (g) M. of hind legs (g)	157.8±9.7 ^a	152.0±4.2 ^a	156.8±3.6 ^a	101.0±4.1 ^b
前腸脛骨筋 (g) <i>M. iliotibialis cranialis</i> (g)	2.8±0.2 ^a 1.8±0.1 ^a	2.7±0.2 ^a 1.8±0.1 ^a	2.8±0.2 ^a 1.8±0.1 ^a	1.9±0.1 ^b 1.9±0.2 ^a
外側腸脛骨筋・寛骨臼後部 (g) <i>M. iliotibialis lateralis pars postacetabularis</i> (g)	9.1±0.7 ^a 5.8±0.3 ^a	8.0±0.6 ^a 5.3±0.3 ^a	8.6±0.7 ^a 5.5±0.5 ^a	5.6±0.4 ^b 5.4±0.3 ^a
後腸骨転子筋 (g) <i>M. iliotrochantericus caudalis</i> (g)	4.5±0.2 ^a 2.8±0.2 ^a	3.9±0.2 ^a 2.6±0.2 ^a	4.0±0.1 ^a 2.6±0.1 ^a	2.7±0.3 ^b 2.6±0.2 ^a
外側下腿屈筋 (g) <i>M. flexor cruris lateralis</i> (g)	5.0±0.6 ^a 3.1±0.3 ^a	4.7±0.2 ^a 3.1±0.1 ^a	5.0±0.4 ^a 3.2±0.3 ^a	3.3±0.3 ^b 3.2±0.2 ^a
恥坐大腿筋 (g) <i>M. puboischiofemoralis</i> (g)	3.4±0.2 ^a 2.2±0.1 ^a	3.2±0.1 ^a 2.1±0.1 ^a	3.3±0.3 ^a 2.1±0.2 ^a	2.2±0.2 ^b 2.1±0.1 ^a
大腿脛骨筋 (g) <i>Mm. femorotibiales</i> (g)	10.1±0.7 ^a 6.4±0.2 ^a	9.6±0.3 ^a 6.3±0.1 ^a	9.8±0.6 ^a 6.3±0.3 ^a	5.9±0.2 ^b 5.8±0.1 ^b
腓腹筋内側部 (g) <i>M. gastrocnemius pars medialis</i> (g)	6.4±0.7 ^a 4.0±0.2 ^a	6.0±0.3 ^a 3.9±0.2 ^a	6.3±0.4 ^a 4.0±0.3 ^a	4.3±0.5 ^b 4.1±0.3 ^a
腓腹筋外側部 (g) <i>M. gastrocnemius pars lateralis</i> (g)	4.8±0.4 ^a 3.0±0.2 ^a	4.4±0.2 ^a 2.9±0.1 ^a	4.6±0.2 ^a 3.0±0.1 ^a	3.0±0.4 ^b 2.9±0.2 ^a

羽数以外の値は平均値±標準偏差。

Figures except the number of birds show mean±SD.

剥皮体重：表1参照。

Carcass wt. : See Fig. 1.

上段は骨格筋重量の実測値, 下段は相対重量 (右側骨格筋が位置する部位の骨格筋重量に対する割合)。

Upper values show absolute muscle weights on the right side and under values are percentages of individual muscle weight to the total in each parts.

同列の平均値の異符号間に有意差あり (p<0.05).

Means with different superscripts differ significantly in the same row (p<0.05).

大腿脛骨筋を除く 11 種の骨格筋はすべての区間で差のない値を示した。烏口上筋および大腿脛骨筋については対照区, T₄ 投与区および自家移植区で区間差はなかったが, 甲除区はこれら 3 区よりも明らかに小さく, 有意差が認められた ($p < 0.05$)。

つぎに, 前述のような重量変動を示した骨格筋すべての筋線維径を表 3 に示した。各骨格筋で対照区, T₄ 投与区および自家移植区の 3 区間に差はなかった。しかし, 甲除区はこれらの 3 区に対して小さな値を示し, 有意差が認められ ($p < 0.05$), 重量の変動と対応した変動を示した。

各骨格筋について, 前述の重量変動 (減少) に対する筋線維径の変動 (減少) の関連性をさらに検討するため, 自家移植区 (1.0) に対する甲除区の骨格筋重量および筋線維径の倍率を算出した。また, 重量の増加率の 3 乗根に長さの増加率が比例すると考えられること (猪ら 1987) から, 重量倍率の 3 乗根を求め, 筋線維径の倍率との相関係数を算出しそれぞれ表 4 に示した。重量倍率は個々の骨格筋でそれぞれ異なり, 前肢部では烏口上筋が, 後肢部では大腿脛骨筋がもっとも小さい値を示した。一方, 筋線維径の倍率でも個々の筋肉によって違いがみられた。前肢部では烏口上筋がもっとも小さかったが, 後肢部では重量倍率とは異なり, 大腿脛骨筋がもっとも小さな倍率とはならなかった。また, 各骨格筋の重量倍率の 3 乗根と線維径倍率との間に有意な相関は認められなかった。

なお実験 I と実験 II とでは, 系統の異なる鶏を供試したが, この点については予備実験において甲状腺除去時の成長や筋重量の変動が両系統間で差がなかったことによるものである。

考 察

鶏において, 甲状腺を外科的に除去すると成長が抑制され, 除去した甲状腺を自家移植すると成長の抑制は解消することなどから, 甲状腺の外科的除去によって甲状腺ホルモンを欠如させうること, および自家移植によってホルモンをほぼ正常に補うことはすでに報告されている (仁木と信國 1994 a, b, 1998)。今回の実験においても, 実験 I では対照区, 実験 II では対照区および T₄ 投与区に比較して, 自家移植区の剥皮体重は同様の値を, 甲除区の剥皮体重は他の区より著しく小さな値を示した (表 1, 表 2)。したがって, 本実験においても甲除区はホルモン欠如に近い状態に, 自家移植区はほぼ正常にホルモンを補ったものと考えられた。

つぎに, 細長くしかも幅がほぼ一定であるため, 筋腹中央部の横断切片で筋線維の総数を計測可能な頸二腹筋

を用いて, 甲状腺除去が骨格筋重量に及ぼす影響ならびに筋線維の数や径の大きさに及ぼす影響との関係について検討した。その結果, 対照区と自家移植区に比較して, 甲除区は筋重量と筋線維径とで明らかに小さな値を示し, 有意差が認められた。しかし, 筋線維総数には有意な差は認められなかった (表 1)。このことは, 甲状腺除去が筋線維の数に影響するのではなく, その径の増大を抑制し, 結果的に重量の増加を抑制することを示すものと考えられる。

鶏の骨格筋の筋線維数について, 正常鶏ではふ化後はほぼ一定で経過することが Smith (1963), Moss (1968), Mizuno and Hikami (1971) および菊地と玉手 (1982) によって報告されている。一方, 甲状腺の機能低下が筋線維数に及ぼす影響については, ふ卵中に抗甲状腺剤を投与すると, 後肢部の足底筋 (*M. plantaris*) と長母趾屈筋 (*M. flexor hallucis longus*) において筋線維数が増加すると報告されている (Bacou *et al.* 1980 および Dainat *et al.* 1991) が, ふ化後については明らかでない。本実験の場合, ふ化 10 日後で甲状腺を除去し, ホルモン欠如に近い状態としたため, ふ化後の筋線維数を変動させるほどの影響はなく, 正常鶏の場合と同様にほぼ一定で経過したものと考えられる。このことは, ふ化後における甲状腺除去は筋線維数に影響しないことを意味し, 頸二腹筋以外の骨格筋にも適用されるものと推察される。

一方, 鶏において, 筋線維径についてふ卵中, ふ化後を通じて甲状腺除去の影響を検討した例はみあたらない。本実験の結果では, 筋線維数とは異なって, 筋線維径は明らかに小さくなり, 甲状腺除去の影響が顕著に認められた。筋線維径の減少は甲状腺の除去が筋線維の成長を抑制したために生じたもので, この成長抑制が筋肉重量の増加抑制につながったことを示すものであろう。鶏の骨格筋の重量増加には, 筋線維の径の大きさが密接に関与することは, Smith (1963), Moss (1968), Mizuno and Hikami (1971) および菊地と玉手 (1982) が報告しており, さらに豚 (Stickland *et al.* 1975) やマウス (Rowe and Goldspink 1969) においても同様な報告がなされている。

つぎに, 13 種の主たる骨格筋において, 甲状腺除去による筋重量の変動と筋線維径の変動との関係について検討した結果, 甲除区は対照区, T₄ 投与区および自家移植区に比較して, 筋重量ではすべての骨格筋が実測値において著しく小さな値を, また烏口上筋と大腿脛骨筋は相対値 (烏口上筋は前肢部, 大腿脛骨筋は後肢部の総筋肉量に対する相対値) でも明らかに小さな値を示し (表 2), 前報 (仁木と信國 1998) と同様に甲状腺除去の影響

が認められた。一方、筋線維径は甲除区がすべての骨格筋において他の3区より著しく小さな値を示した(表3)。これらの結果は、頸二腹筋で述べたのと同様に、甲状腺除去が筋線維径の増大を抑制し、このことが骨格筋

重量の増加抑制に結びついたことを示すものと考えられる。また、甲除区では骨格の発達も悪く(仁木と信國1994b)、このことから骨格筋の長さ(筋線維長)も十分に伸びていないことが考えられる。

表 3. 対照鶏, T₄投与鶏, 甲状腺自家移植鶏および甲状腺除去鶏における前肢部, 体幹部および後肢部骨格筋の筋線維径

Table 3. Fiber diameters of skeletal muscles from forelimbs, body stem and hind legs in control (intact), T₄ injection after thyroidectomy, thyroid autotransplantation and thyroidectomy groups

	実験区 Experimental groups			
	対照 Control	T ₄ 投与 T ₄ injection	自家移植 Autotrans- plantation	甲状腺除去 Thyroid- ectomy
羽数 No. of birds	5	5	5	4
前肢部骨格筋 M. of forelimbs				
胸筋(μm) <i>M. pectoralis</i> (μm)	29.0±0.6 ^a	30.3±0.9 ^a	30.0±0.6 ^a	25.4±0.8 ^b
鳥口上筋(μm) <i>M. supracoracoideus</i> (μm)	29.7±1.0 ^a	29.4±0.3 ^a	29.6±0.4 ^a	23.7±0.6 ^b
上腕二頭筋(μm) <i>M. biceps brachii</i> (μm)	26.0±0.9 ^a	26.8±1.9 ^a	26.8±1.5 ^a	23.6±0.8 ^b
体幹部骨格筋 M. of body stem				
腹頸長筋(μm) <i>M. longus colli ventralis</i> (μm)	22.3±1.6 ^{ab}	24.7±2.7 ^{ab}	22.7±0.1 ^a	20.5±2.0 ^b
背頸長筋(μm) <i>M. longus colli dorsalis</i> (μm)	25.8±3.4 ^{ab}	25.2±3.0 ^{ab}	25.5±1.6 ^a	20.2±2.6 ^b
後肢部骨格筋 M. of hind legs				
前腸脛骨筋(μm) <i>M. iliobtibialis cranialis</i> (μm)	22.6±1.2 ^a	22.1±0.7 ^a	22.6±0.9 ^a	19.9±1.6 ^b
外側腸脛骨筋・寛骨臼後部(μm) <i>M. iliobtibialis lateralis pars postacetabularis</i> (μm)	29.7±1.1 ^a	28.7±0.8 ^a	27.2±0.6 ^a	23.0±0.8 ^b
後腸骨転子筋(μm) <i>M. iliobtibialis caudalis</i> (μm)	26.2±0.8 ^a	27.5±2.2 ^a	26.6±0.5 ^a	20.7±1.0 ^b
外側下腿屈筋(μm) <i>M. flexor cruris lateralis</i> (μm)	30.3±1.2 ^a	29.0±1.3 ^a	29.8±1.1 ^a	25.3±1.5 ^b
恥坐大腿筋(μm) <i>M. puboischiofemorales</i> (μm)	31.6±1.2 ^a	30.9±1.5 ^a	30.6±2.3 ^a	25.4±0.7 ^b
大腿脛骨筋(μm) <i>Mm. femorotibiales</i> (μm)	24.3±1.1 ^a	26.6±1.9 ^a	24.8±2.2 ^a	19.5±0.5 ^b
腓腹筋内側部(μm) <i>M. gastrocnemius pars medialis</i> (μm)	34.3±1.6 ^a	34.6±1.9 ^a	35.6±1.6 ^a	28.5±1.5 ^b
腓腹筋外側部(μm) <i>M. gastrocnemius pars lateralis</i> (μm)	33.6±1.5 ^a	31.0±2.1 ^a	33.2±0.9 ^a	25.3±0.9 ^b

羽数以外の値は平均値±標準偏差。

Figures except the number of birds show mean±SD.

同列の平均値の異符号間に有意差あり (p<0.05).

Means with different superscripts differ significantly in the same row (p<0.05).

骨格筋における重量の増加抑制と筋線維径の増加抑制との関係をさらに検討するため、自家移植区に対する甲除区の骨格筋の重量倍率の3乗根と筋線維径の倍率を比較した。ここで自家移植区との比較に限ったのは、自家移植区は甲除区とまったく同様の手術を受けていながら、ホルモン分泌率はほぼ正常と推定されるためである(仁木と信國 1994a)。その結果、重量の増加抑制の程度

が他より大きかった烏口上筋と大腿脛骨筋は重量倍率においても他より小さな値を示し(表4)、前報の結果(仁木と信國 1998)と同様であった。しかし、筋線維径の倍率では、前肢部において烏口上筋が最も小さな値を示し、重量倍率と一致したが、後肢部における大腿脛骨筋の倍率は他の多くの骨格筋より小さいものの、最も小さな値ではなかった(表4)。さらに、各骨格筋の重量倍率

表 4. 甲状腺自家移植鶏に対する甲状腺除去鶏の骨格筋重量および筋線維径の倍率

Table 4. Folds of muscle weight and fiber diameter of thyroidectomy group to autotransplantation

	筋重量 Muscle weight		筋線維径 Fiber diameter
	倍率 Folds	三乗根 Cubic root of folds	倍率 Folds
前肢部骨格筋 M. of forelimbs			
胸筋 <i>M. pectoralis</i>	0.697	0.887	0.847
烏口上筋 <i>M. supracoracoideus</i>	0.650	0.866	0.801
上腕二頭筋 <i>M. biceps brachii</i>	0.700	0.888	0.881
体幹部骨格筋 M. of body stem			
腹頸長筋 <i>M. longus colli ventralis</i>	0.692	0.885	0.903
背頸長筋 <i>M. longus colli dorsalis</i>	0.680	0.879	0.792
後肢部骨格筋 M. of hind legs			
前腸脛骨筋 <i>M. iliotibialis cranialis</i>	0.679	0.879	0.881
外側腸脛骨筋・寛臼後部 <i>M. iliotibialis lateralis pars postacetabularis</i>	0.651	0.867	0.846
後腸骨転子筋 <i>M. ilirotrochantericus caudalis</i>	0.675	0.877	0.778
外側下腿屈筋 <i>M. flexor cruris lateralis</i>	0.660	0.871	0.849
恥坐大腿筋 <i>M. puboischiofemoralis</i>	0.667	0.874	0.830
大腿脛骨筋 <i>Mm. femorotibiales</i>	0.602	0.844	0.786
腓腹筋内側部 <i>M. gastrocnemius pars medialis</i>	0.683	0.881	0.801
腓腹筋外側部 <i>M. gastrocnemius pars lateralis</i>	0.652	0.867	0.762
骨格筋重量の倍率の三乗根と筋線維径の倍率間の相関係数 Correlation coefficient between the cubic root of folds of weight and the folds of fiber diameter in skeletal muscle	0.5266 (NS: p>0.05)		

倍率: 甲状腺除去鶏の値/自家移植鶏の値。

Folds: folds of values of thyroidectomy group to those of autotransplantation.

の3乗根と筋線維径倍率の間に有意な相関は認められなかった(表4)。これらのことは、骨格筋の種類によって、重量の減少程度と筋線維径の減少程度が必ずしも対応しないことを示すものである。この理由としては、鶏の骨格筋を構成する筋線維には、代謝活性と収縮速度の違いから分類した場合、A型、B型およびC型(Suzuki 1972)あるいはI型、IIA型およびIIB型(Iwamoto *et al.* 1993)の3型が存在し、各筋線維型に対する甲状腺ホルモンの影響程度が異なることおよび骨格筋によってこのホルモンの影響を受けやすい筋線維と受けにくい筋線維との構成割合が異なることが関係しているかもしれない。

以上の結果から、甲状腺除去による骨格筋重量の増加抑制には、筋線維の数よりむしろ径の減少が関与しているものと推察された。さらに、この重量の増加抑制の程度と筋線維径の減少程度は骨格筋の種類によっては必ずしも呼応しないことが示唆された。

引用文献

- Bacou F, Jallageas M, Nougues J and Vigneron P. Influence of experimental hypothyroidism on chick myogenesis. *Reproduction Nutrition Development*, 20 (1 B): 217-224. 1980.
- Dainat J, Saleh L, Bressot C, Margar L, Bacou F and Vigneron P. Effects of thyroid state alterations in ovo on the plasma levels of thyroid hormones and on the populations of fibers in the plantaris muscle of male and female chickens. *Reproduction Nutrition Development*, 31: 703-716. 1991.
- 猪 貴義・後藤信男・星野忠彦・佐藤 博, 動物の成長と発育, 朝倉書店, 東京, pp. 194-218, 1987.
- 岩元久雄・高原 斉. 鶏の産肉性に関する基礎的研究Ⅲ. 3部位に分けたときの各部位骨格筋の孵化後における成長の比較ならびに雌雄間の相違. *九大農芸誌*, 25 (3・4): 173-181. 1971.
- Iwamoto H, Hara Y, Gotoh T, Ono Y and Takahara H. Different growth rates of male chicken skeletal muscles related to their histochemical properties. *British Poultry Science*, 34: 925-938. 1993.
- 菊地建機・玉手英夫. 鶏胚発生に伴う錯綜筋の発達. *日本畜産学会報*, 53 (10): 651-655. 1982.
- Marvin HN and Smith GC. Technique for thyroidec-tomy in the pigeon and the early effect of thyroid removal on heat production. *Endocrinology*, 32: 87-91. 1943.
- Mizuno T and Hikami Y. Comparison of muscle growth between meat-type and egg-type chickens. *Japanease Journal of Zootechnical Science*, 42 (10): 526-532. 1971.
- Moss FP. The relationship between the dimensions of the fibers and the number of nuclei during normal growth of skeletal muscle in the domestic fowl. *American Journal of Anatomy*, 122: 555-563. 1968.
- 仁木隆博・信國喜八郎. 鶏における自家移植甲状腺の甲状腺ホルモン分泌. *日本家禽学会誌*, 31: 181-188. 1994a.
- 仁木隆博・信國喜八郎. 鶏の筋肉, 骨, 内臓および脂肪の重量に及ぼす甲状腺ホルモンの影響. *日本家禽学会誌*, 31: 262-269. 1994b.
- 仁木隆博・信國喜八郎. 鶏の前肢部, 体幹部および後肢部における個々の筋肉の重量に及ぼす甲状腺ホルモンの影響. *日本家禽学会誌*, 35: 295-302. 1998.
- 信國喜八郎・岡本正幹. 雄雛の甲状腺機能におよぼす環境温度の影響. *日本家禽学会誌*, 9: 11-16. 1972.
- 信國喜八郎・久木田敬一・古賀 脩. 雄雛の成長におよぼす甲状腺ホルモンの影響. *九大農芸誌*, 26 (1-4): 351-358. 1972.
- 尾野喜孝・岩元久雄・高原 斉. 雄鶏の大腿二頭筋筋線維に及ぼす Androgen の影響に関する組織化学的研究. *日本畜産学会報*, 54 (7): 453-459. 1983.
- Rowe RWD and Goldspink G. Muscle fibre growth in five different muscles in both sexes of mice. I. Normal mice. *Journal of Anatomy*, 3: 519-530. 1969.
- Singh A, Reineke EP and Ringer RK. Comparison of thyroid secretion rates in chickens as determined by (1) goiter prevention, (2) thyroid hormone substitution, (3) direct output and (4) thyroxine degradation methods. *Poultry Science*, 47: 205-211. 1968.
- Smith JH. Relation of body size to muscle cell size and number in the chicken. *Poultry Science*, 42: 283-290. 1963.
- Stickland NC, Widdowson EM and Goldspink G. Effects of severe energy and protein deficiencies on the fibers and nuclei in skeletal muscle of pigs. *British Journal of Nutrition*, 34: 421-428. 1975.
- Suzuki A. Histochemistry of the chicken skeletal muscles. I. Classification of individual muscle fibers. *Tohoku Journal of Agricultural Research*, 23 (1): 45-57. 1972.

Effects of the Number and Diameter of Muscle Fibers on the Weight of Skeletal Muscle in Thyroidectomized Chickens

Takahiro Nikki and Kihachiro Nobukuni

School of Agriculture, Kyushu Tokai University, Aso-gun 869-1404

These experiments were conducted in order to investigate the possible effects of changes in the number and/or diameter of skeletal muscle fibers on the muscle growth retardation induced by thyroidectomy in the chicken.

Male chicks (White Leghorn commercial) were thyroidectomized at 10~11 days of age, and then divided into 3 groups : thyroidectomy, T₄ replacement injection (1~1.5 µg/day/100 g·bwt of L-T₄) and subcutaneous autotransplantation around pectoral region.

First, the effects of the number and diameter of muscle fibers on the muscle weight in *M. biventer cervicis* were compared between the thyroidectomy group and autotransplantation group. As the result, the thyroidectomy group showed a significant decrease in muscle weight based on the fiber diameter decrease. However, the total number of fibers did not significantly differ in the thyroidectomy group from autotransplantation.

Second, the relationship between the weight and the diameter of muscle fiber in 13 skeletal muscles was compared in the thyroidectomy, autotransplantation and T₄ injection groups. The results indicated that all weights of the 13 muscles were reduced by thyroidectomy, especially in *M. supracoracoideus* in forelimbs and *Mm. femorotibiales* in hind legs. The fiber diameters of all skeletal muscles also significantly decreased in the thyroidectomy group. However, there was no significant correlation between the cubic roots of folds of muscle weight and the folds of fiber diameter of thyroidectomy group to autotransplantation.

In conclusion, it was shown that the growth retardation of skeletal muscle induced by thyroidectomy resulted mainly from a fiber size reduction rather than a decrease in fiber number, although the rate of muscle growth retardation did not necessarily coincide with the rate of fiber diameter decrease.

(*Japanese Poultry Science*, **39** : J130-J138, 2002)

Key words : thyroid hormones, skeletal muscle weight, fiber number, fiber diameter, thyroidectomized chickens