

10章

スポーツと体組成



10章の POINT

- ◆ 体組成の概念について理解しよう。
- ◆ 体組成は体脂肪量、体脂肪率および除脂肪量によって評価される。それらの測定にはいくつかの方法があり、それぞれの長所と短所について理解しよう。
- ◆ 体組成は遺伝、ホルモン、加齢、運動、栄養などの影響を受けることを学ぼう。
- ◆ 脂肪はおもに有酸素性運動のトレーニングによって減少し、その減少量は運動の継続時間と頻度に依存することを理解しよう。
- ◆ 除脂肪、とくに筋量はレジスタンストレーニングによって増大し、その増大量はトレーニングの負荷重量、反復回数、セット数、セット間の休息時間、動作速度の影響を受けることを理解しよう。

知っておくと役に立つ!

筋内脂肪

近年では¹H-MRS（プロトン核磁気共鳴分光法）という手法を用いることで筋の内外の脂肪の定量が可能となった。そして、筋内脂肪が重要な役割を担うことが報告されている。たとえば、筋内脂肪が多いほど持久的な運動能力が高くなり、鍛錬された持久的な運動選手では筋内脂肪の量が多いことが明らかとなっている。これらは筋内脂肪が持久的な運動における重要なエネルギー源となることを示唆している。

知っておくと役に立つ!

白色・褐色脂肪組織

脂肪には白色および褐色脂肪組織がある。前者はいわゆる脂肪としての、後者は寒冷環境下で熱を産生し体温を維持する重要な役割を担う。従来ヒトでは新生児のみに観察されてきたが、近年ポジトロン断層法（PET）で全身組織のフルオロデオキシグルコース（FDG）集積を確認しCTと併用することで、青年期以降でも寒冷曝露により肩甲骨上と脊柱付近に観察された。ただし、観察されるものとされないものがあり、前者ほど体重や体脂肪量が少ない。

はじめに

体格は体重を身長²で除した体格指数（body mass index, BMI）により評価される。しかしながら、BMIが同等であっても身体の構成要素、すなわち、体組成が異なる場合もある。よって、体格だけでなく体組成を測定評価し、より良好にしていくことが重要である。

この章では体組成の測定方法、体組成に影響を及ぼす因子、体組成をより良好にする方法について紹介する。

1 体組成とは

体組成は脂肪とそれ以外の除脂肪に大別できる。また、除脂肪は水、タンパク質および骨・非骨系ミネラル成分に分類される。他方、脂肪は蓄積部位により皮下、内臓あるいは筋内脂肪のように分けられる（図10.1）。

なお、体組成の測定評価は体脂肪量、体重に占める脂肪量の割合を示す体脂肪率および除脂肪量によってなされる。

2 体組成の測定方法：用途に合わせて使い分ける

(1) 二重エネルギー X 線吸収法

二重エネルギー X 線吸収法（dual energy X-ray absorptiometry, DXA）は2種の波長の X 線を身体に照射し、それらが組織を透過する

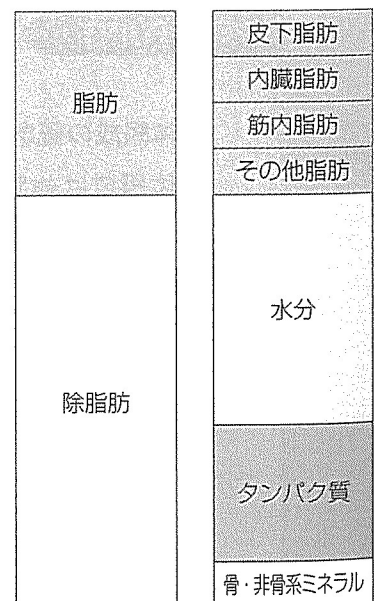


図 10.1 体組成成分の分類

際の減衰率を測定し、各組織の組成を推定する方法である。脂肪および除脂肪の組成の推定値の信頼性も高いことから、体組成測定法のゴールドスタンダードとされている（図 10.2）。測定時、被検者は装置に仰向けに寝るだけで特別な姿勢をとる必要はない。一方で、装置が高価である。また、測定中わずかながら被ばくする。加えて、被検者の体型が X 線の照射範囲を大きく越える場合には測定が難しい。

（2）密度計測法

密度計測法は身体の体積を測定し、密度を算出することで、体脂肪率を推定する方法である。DXA 法が用いられる以前は体組成測定法のゴールドスタンダードとされてきた。しかしながら、一般的な推定式に年齢、性別ないし人種が考慮されていない。身体の体積の計測方法には、水中体重秤量法や空気置換法がある。

① 水中体重秤量法

水中で体重を測定し、アルキメデスの原理を利用して（空気中の）体重と水中での体重から体積を算出する。ただし、算出される体積には肺の残気量（1～2L）が含まれる。そのため、残気量も測定し、値を補正しなければならない。また、被検者の姿勢変化によって水中体重に誤差が生じることや、測定場所や装置の確保が難しいといった問題もある。そして何より被検者が息を吐ききった状態で十数秒間水中に潜ってなければならないため負担が大きい（図 10.3）。

② 空気置換法

装置の中で座位姿勢をとり、空気の圧力変化を測定し、ボイルの法則を用いて体積を算出する方法である。水中体重秤量法に比べ被検者の負



図 10.3 水中体重秤量法の測定
写真提供：慶應義塾大学スポーツ医学研究センター

Region	Fat (g)	Lean+BMC (g)	% Fat
L Arm	440.4	3750.3	10.5
R Arm	483.3	3910.8	11.0
Trunk	3804.7	33256.5	10.3
L Leg	1476.7	12727.4	10.4
R Leg	1557.1	12580.3	11.0
Subtotal	7762.3	66225.2	10.5
Head	1100.8	4456.6	19.8
Total	8863.1	70681.8	11.1

図 10.2 DXA 法による測定結果

全身の映像、各部位の Fat（脂肪）、Lean + BMC（除脂肪+骨塩量）、% Fat（体脂肪率）の測定値が算出される。

担は少ないが、装置は高額である（図 10.4）。

（3）生体電気インピーダンス法

生体電気インピーダンス法は四肢に当てた電極から身体に1種類以上の周波数の電流を流し、インピーダンス、すなわち電気抵抗を測定することで身体の水分量を推定し、体組成を把握するものである。装置は測定箇所や利用する電流の周波数が多いほど精度が高くなり、その分高価になる。しかしながら、他の測定法の装置に比べれば安価なものが多い。また、装置の移動が比較的簡便で、測定時間も短時間である。さらに、測定は非侵襲的であり、被検者に求められることは電極を皮膚に当てることぐらいで汎用性は高い（図 10.5）。

一方、測定値の妥当性には若干の懸念が残る。たとえば、体水分量の分布に変化が生じる運動による発汗後、飲水後、女性の月経周期などによっては測定値に誤差が生じる場合がある。また、電気抵抗は温度変化にも影響を受ける。そのほかに姿勢を一定に保ったり、電極が触れる皮膚部分を清潔にするなど注意を払わなければならない点がある。

（4）皮下脂肪厚法

皮下脂肪厚法は特定の箇所の皮下脂肪厚を測定し、測定値を各種推定式に代入し、体脂肪率を算出するものである。ただし、あくまで皮下脂肪厚を測定しているに過ぎず、内臓脂肪を反映した体脂肪率の推定値を算出できない。なお、皮下脂肪厚の測定には皮脂厚計（キャリパー）を用いる方法や超音波測定装置を用いる方法がある。

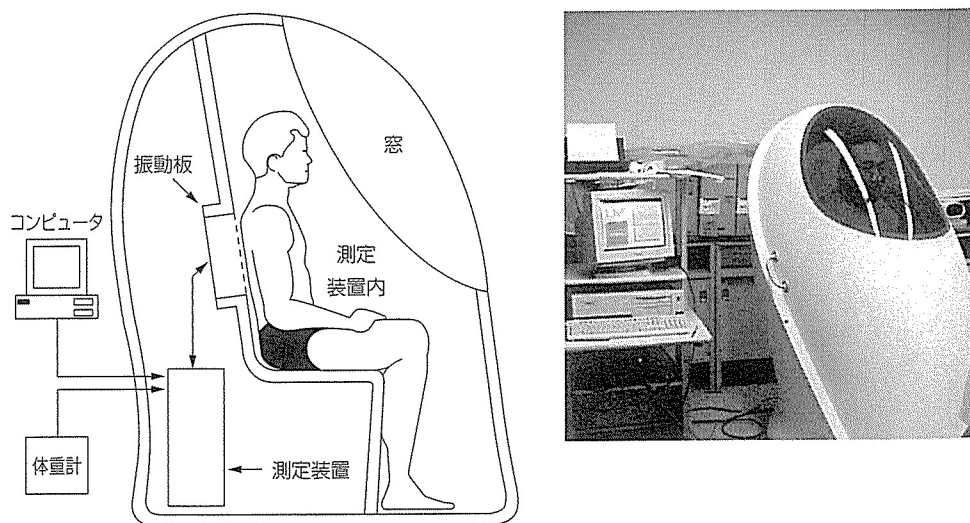


図 10.4 空気置換法の測定装置と代表的な装置による測定
写真提供：慶應義塾大学スポーツ医学研究センター

① キャリパーによる皮下脂肪厚の測定

キャリパーによる皮下脂肪厚の測定は特定の箇所の皮膚を指でつまみ、キャリパーでその厚さを測る（図 10.6）。測定は非侵襲的であり、測定にかかる費用もキャリパーの費用だけで他の測定法に比べれば安価である。さらに、キャリパーは持ち運びもしやすく、この点からも汎用性が高い。

一方で、キャリパーによる皮下脂肪厚の測定には検者にある程度の熟練が求められ、体脂肪率の推定値の正確さからみれば他の測定法に劣る面もある。しかしながら、検者が測定に熟練すれば、体脂肪率の推定値の再現性や妥当性が高まる。

② 超音波測定装置による皮下脂肪厚の測定

超音波プローブを測定箇所に当て、プローブから出される高周波音波が皮下の脂肪および筋まで到達し、戻ってくるまでの電気信号を測定し、透過速度の違いから脂肪と筋の境界線を割り出し、皮下脂肪厚を推定するものである（図 10.7）。キャリパーによる測定法に比べ熟練の必要がなく、比較的正確な値が測定できる。また、他の画像診断に比べれば被検者の負担が少なく、被ばくもしない。一方で、装置は比較的高価であり、一般的で簡便な方法とはいえない。

これまで述べた体組成の測定方法について比較したものを、表 10.1 にまとめた。

(5) その他の方法

① 周径囲法

周径囲法は巻き尺などを使って特定の箇所の周囲の長さを測定するも

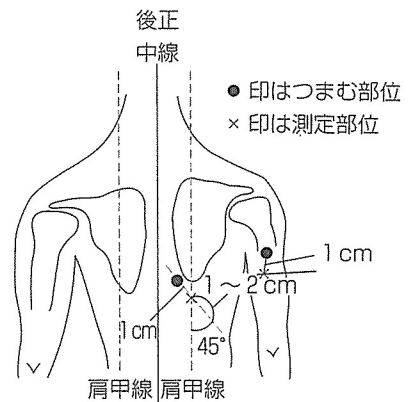


図 10.6 キャリパーによる皮下脂肪厚の測定

上腕背部および肩甲骨下部の皮下脂肪厚を測定し、数式に代入すると体脂肪率が推定できる。

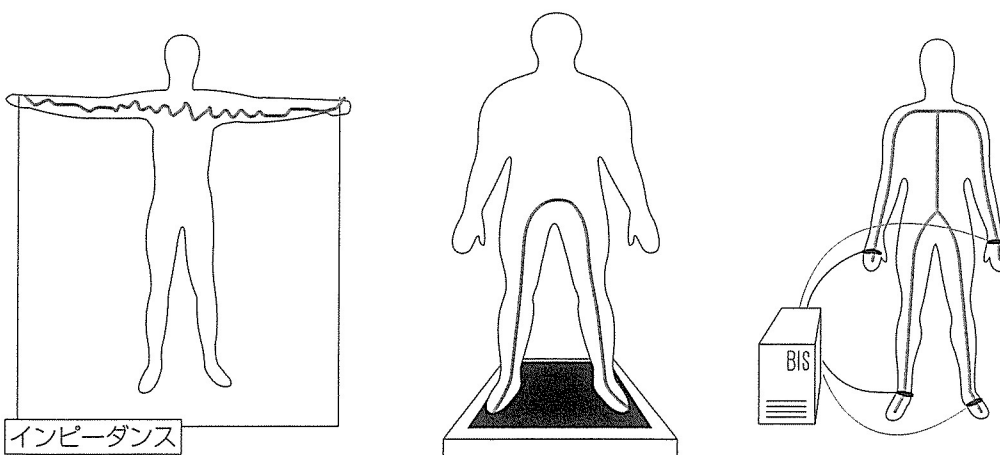


図 10.5 生体電気インピーダンス法による測定

左から上半身、下半身、全身の測定時の電流の通り道。

Ellis, Selected Body Composition Methods Can Be Used in Field Studies, *J. Nutr.*, 131, 1589S (2001), Figure 6 を一部改変。

ので、最も汎用性の高い測定法といえる。腹部周径囲や四肢の周径囲が身体密度や除脂肪量と関係のあることが明らかにされているが、それらの関連性はあまり強くないこと、そして、周径囲自体の測定誤差も大きいといった問題点がある。

② 画像法

画像法はCT (computed tomography, コンピュータ断層撮影) やMRI (magnetic resonance image, 磁気共鳴画像) といった画像診断装置を用いて横断画像を撮影することで組成を見分ける方法であり、腹部内臓脂肪や筋の横断面積など局所の組成を見分ける方法としては大変優れている。

一方で装置が高価であることに加え、全身の体組成を割り出すには多くの画像を取得しなければならない。できるだけ少量の画像で全身の体組成を推定する方法についても検討が行われているが、汎用性が低いといわざるを得ない。

3

体組成の判定基準は体脂肪率のみ

体組成の判定基準が設けられているのは体脂肪率のみで、除脂肪量には判定基準は存在しない。体脂肪率の判定基準は世界においては世界保健機関 (WHO) が、日本では日本肥満学会が策定しており、日本肥満学会による基準は表 10.2 の通りである。これは DXA 法を用いて測定した結果に基づくものであり、一般的な家庭用の生体電気インピーダンス法を利用した装置で測定した結果の基準とは異なる場合もある。表では下限の基準値は設けられていないものの、体脂肪率は男性では最低でも

DXA 法

p.126 参照.

インピーダンス法

p.128 参照.

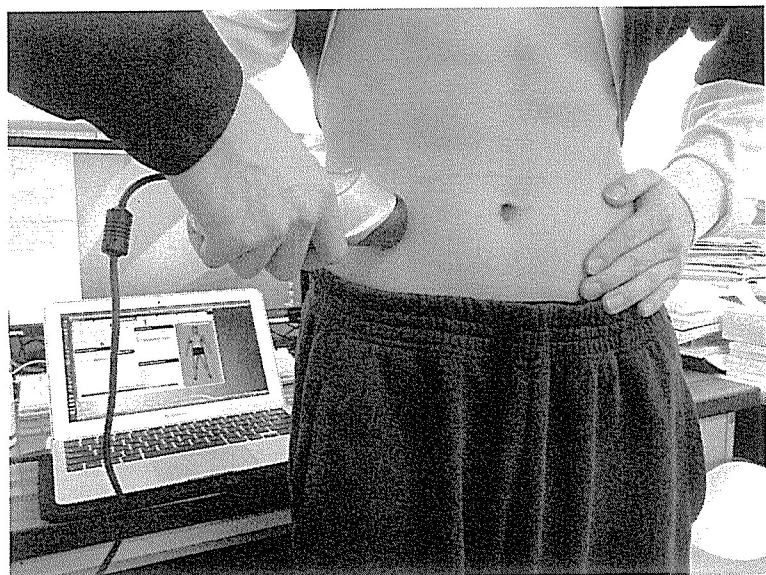


図 10.7 超音波法による腹部皮下脂肪厚の測定

4%，女性では12%程度なければ恒常性は保てない。

4

体組成を変化させる要因

(1) 遺伝

脂肪の組成には25%の遺伝的な影響がある。また、遺伝的に体幹や腹部の皮下に脂肪が蓄積しやすい。一方、除脂肪のうち、筋量の組成については約30%の遺伝的な影響がある。脂肪のように遺伝的に筋が局所的に発達しやすいことは明らかになっていないが、収縮特性の異なる筋線維の比率に遺伝的な影響がある。また、脂肪や筋の組成に関連する遺伝子の特定は現在も続けられている。

遺伝的な影響

8章も参照。

(2) ホルモン

いくつかのホルモンが、体組成の変化に単独あるいは相互的に作用することが報告されている。たとえば、おもに筋量を増やす働き（同化作用）をもつものとして、テストステロン、インスリンおよび成長ホルモン（growth hormone, GH）がある。一方、逆の働き（異化作用）をもつものにコルチゾールがある。コルチゾールは筋量を減らすだけでなく、インスリンと結合して脂肪の分解を抑制する作用もある。しかしながら、この作用はGHによって無効化される。また、テストステロンや女性ホルモンには脂肪の蓄積を防ぐ効果もあり、とくに内臓脂肪への効果が顕著である。

内分泌ホルモン

6章も参照。

表 10.1 体組成測定方法の比較

測定法	項目	精度・正確性	持ち運び	被験者の負担	検者の方法の修得	価格
DXA法		◎	×	○	○	¥ ¥ ¥ ¥
水中体重秤量法		◎	×	◎	○	¥ ¥ ¥
空気置換法		◎	×	○	○	¥ ¥ ¥
生体電気インピーダンス法		△	○	×	×	¥ ~ ¥ ¥
キャリパー法		△	◎	×	◎	¥
超音波法		○	○	×	△	¥ ¥

◎：とても優れている，とてもある，とても難しい。

○：優れている，ある，難しい。

△：普通。

×：劣る，ない，易しい。

価格の¥は多いほど高価であることを示す。

(3) 加齢

加齢に伴って体組成は変化する。成人以降、脂肪量は増大し、とくに内臓脂肪が蓄積しやすくなる。これはホルモンの影響もある。

一方、除脂肪、とくに筋は加齢に伴って萎縮する。その割合は上肢よりも下肢の筋で大きく、とくに大腿前部の筋の減少量が多い。このような加齢に伴う筋量の減少をサルコペニア (sarcopenia) と呼ぶ。また運動不足による筋量の減少を廃用性萎縮と呼ぶが、サルコペニアと廃用性萎縮は同時に進行することが多く、分けて考えることは難しい。

(4) 運動と栄養

体重や体組成を一定に保つためには、エネルギーの出納バランスを保つ、すなわち、食事により摂取したエネルギー量を消費すればよい。一方、体重を減らし、体組成、とくに体脂肪を減少させるためには、エネルギー消費量をエネルギー摂取量よりも多くするか、あるいはエネルギー摂取量自体を減らしていかなければならない。しかしながら、食事制限によるエネルギー摂取量の減少だけでは、体重は減らせるものの脂肪だけを選択的に減少させることは難しく、実際には除脂肪量の減少も生じてしまう。一方で、運動によってエネルギー消費量を増大させることは主として脂肪の分解を促し、脂肪を減少させることになる。また、エネルギー摂取量に関係なく、運動不足になることは、体組成を悪い状態へと変化させ、脂肪量を増加させたり、除脂肪、とくに筋を減少させる。よって、体組成を良好な状態へと導くためには適切な運動が必要である。

運動と栄養

9章も参照。

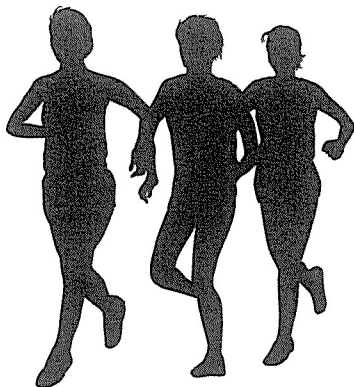


表 10.2 体脂肪率による肥満の判定基準

性別		判定		
		軽度肥満	中等度肥満	重度肥満
男性 (全年齢)		20 % 以上	25 % 以上	30 % 以上
女性	6 ~ 14 歳	25 % 以上	30 % 以上	35 % 以上
	15 歳以上	30 % 以上	35 % 以上	40 % 以上

日本肥満学会編集委員会 編, 「肥満・肥満症の指導マニュアル (第2版)」, 医歯薬出版 (2001), p.5.

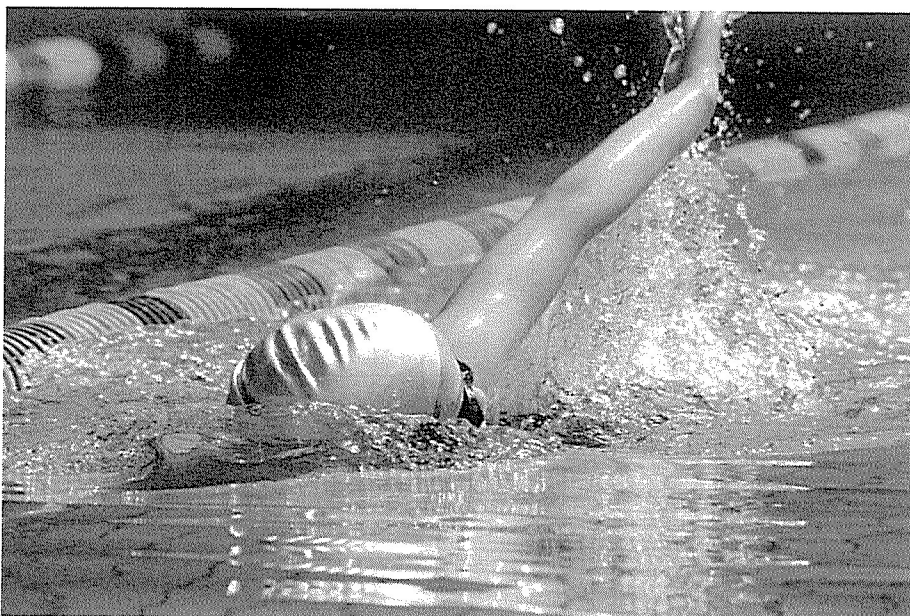
① 脂肪を減らす：有酸素性運動のトレーニングが有効

脂肪は一般に陸上での運動やスポーツ活動時には重りとなるため、運動成績を悪化させる恐れがある。また、脂肪の蓄積は生活習慣病の危険性を高める。これらのことから、脂肪量を適切に保つ働きかけがなされている。主として有酸素性運動によるエネルギー消費量の増大が脂肪の分解を促し、脂肪量を減少させる。有酸素性運動による脂肪の減少については、運動開始時の体脂肪率、年齢あるいは性別によって効果に差が生じる。

たとえば、運動開始時の体脂肪率が高い人ほど運動による体脂肪率の低下の割合が大きい。また、加齢に伴って脂肪が蓄積しやすくなるため、若年者よりも高齢者で運動による脂肪の減少量が大きい。一方、運動効果の性差については若年者を対象とした場合に見られ、女性よりも男性で脂肪の減少量が大きい。しかしながら、高齢者を対象とした場合には性差は見られず、男女の脂肪減少量に差異はない。また、従来は運動が内臓脂肪を減少させやすいと考えられてきたが、実際にはエネルギーの出納バランスが影響する。ただし、内臓脂肪は皮下脂肪や全身の脂肪に比べれば減少しやすいという特徴をもつ。

脂肪を減らす具体的な有酸素性運動の方法として歩行、ランニング、自転車漕ぎ運動、踏み台昇降運動、ノルディックウォーキング、水泳などさまざまな運動様式が用いられる。運動強度としては最大酸素摂取量($\dot{V}_{O_2\max}$)の50%から60%程度の運動強度が脂質からのエネルギー利用率を高めることから適切である。しかしながら、実際のところは強度による脂肪減少効果の違いを明らかにした研究は少ない。一方、運動の継続時間や頻度については一定の見解が得られており、1週間あたりの

ノルディックウォーキングストックを利用したウォーキングである。通常のウォーキングに比べ主観的には楽であるにもかかわらず、エネルギー消費量は高い。また、ストックを使うことで推進力を高め、安定性も保たれることから高齢者にも適した方法である。



エネルギー消費量が脂肪の減少量と関連がある。つまり、1週間あたりのエネルギー消費量は運動の継続時間と頻度の積であることから、両変数を増やすと大きく脂肪を減少させられる。肥満予防や減量のガイドラインでは中等度の強度の身体活動（普通歩行など）を1日に45分から60分以上、1週間あたり150分から250分（減量は250分以上）実施することが推奨されている。

② 除脂肪を増やす：レジスタンストレーニングが有効

除脂肪量、とくに筋量の増加は、運動愛好家やスポーツ選手の運動中の外傷予防や運動能力の向上に結び付く。また、高齢者にとっては加齢に伴う筋萎縮や筋力低下を抑えるうえで重要である。一般に筋量を増やすための方法として効果が高いものにレジスタンストレーニングがある。レジスタンストレーニングによる筋量の増大については性差がない。また、若年者に比較し、高齢者ではレジスタンストレーニングによる筋の増大量の伸びしろ（トレーナビリティ）は小さくなるものの、高齢者であっても筋量は増大する。

筋量を増やすための運動負荷としては、最大挙上重量（one repetition maximum, 1RM）の70%から85%程度と比較的重たい負荷重量を用いる。また、最大反復回数（推定で6～12回程度）までを行い、それを3セット（～6セット）程度繰り返す方法が勧められる。また、筋量を増大させるためにはセット間の休息時間も重要であり、30秒から90秒程度と短い休息時間が望ましい。なぜなら、休息時間が短いことで筋への力学的および代謝的なストレスが増大し、トレーニングの結果同化作用をもつホルモンの分泌量も増大し、筋が肥大するからである。一方、短時間の休息時間では初めに設定した負荷重量での運動を

レジスタンストレーニング
4章も参照。

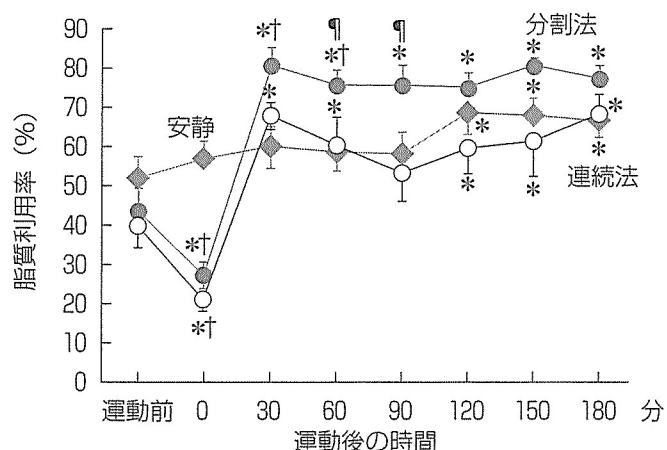


図 10.8 有酸素性運動の方法の違いが運動後の脂質利用率に及ぼす影響
*は運動前との差を示す。†は安静との差を示す。¶は連続法との差を示す。

Goto ら, A single versus multiple bouts of moderate-intensity exercise for fat metabolism, *Clin. Physiol. Funct. Imaging*, 31, 215 (2011), Fig. 4 (c).

こなせなくなる。このような場合には負荷重量を減少させ、反復回数を確保するウェイトリダクションと呼ばれる方法が有効である。運動の頻度としては2日から3日に一度とし、トレーニングは8週間以上継続することで効果が得られる。

③ 効率よく体組成を改善させる

脂肪を減少させるより良い方法を探るため、連続的に30分間、60% $\dot{V}_{O_2\max}$ の強度で自転車漕ぎ運動を行う方法と同強度の運動を10分間、運動間に10分の休息をあけて3セット（計30分）行う分割法を用いて、運動中および運動後の呼気ガス分析から求めた脂質利用率に及ぼす影響について比較した研究がある。その結果、運動中の脂質利用率には両方法で相違がなかったものの、運動後における脂質利用率は分割法で高かったことが示された（図10.8）。従来は脂肪を減少させる有酸素性運動は30分以上継続して行ったほうが効果的とされてきたが、10分ずつ分割する方法の有効性が示唆されている。

また、50% $\dot{V}_{O_2\max}$ の強度における60分間の自転車漕ぎ運動のみを行う場合と、同様の自転車漕ぎ運動を実施する20分前および120分までに75% 1RMの強度における10回×3、4セットの上半身のレジスタンス運動を行う場合で、自転車漕ぎ運動における脂質利用率を比較した研究がある（図10.9）。その結果、同様の自転車漕ぎ運動を実施したにも関わらず、20分前までにレジスタンス運動を実施した場合で最も脂質利用率が高まったことが報告されている。よって、脂肪を効率よく減少させるためには、単に有酸素性運動を行うよりもその前にレジスタンス運動を実施することの有効性が示唆される。

一方、除脂肪を増やすための効果的な運動方法について、レジスタン

トレーニングの順序
6章も参照。

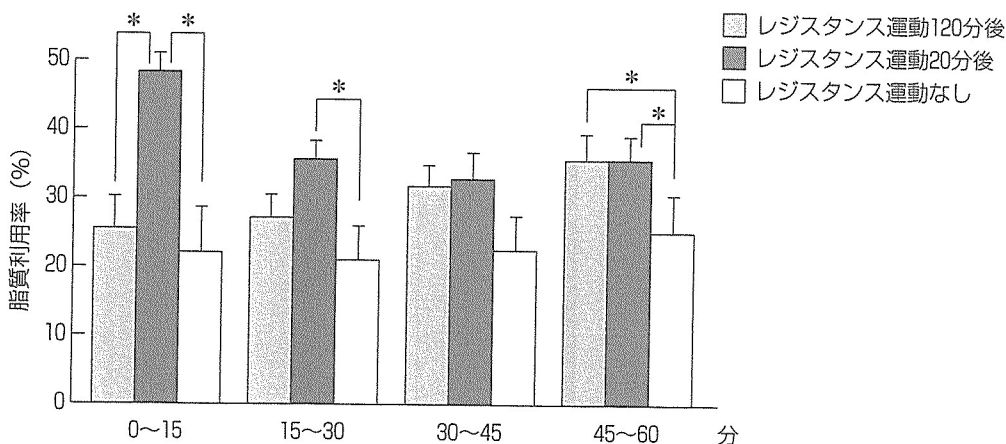


図 10.9 レジスタンス運動の有無が有酸素性運動中の脂質利用率に及ぼす影響
*は条件間に差があることを示す。

Goto ら, Effects of resistance exercise on lipolysis during subsequent submaximal exercise, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 39, 308 (2007), Figure 6.

ストレージングの速度に着目し、本来筋量が増大しにくいとされる50%1RMの比較的軽い負荷であってもゆっくりと行う（3秒で挙げ、3秒で下ろす）ことで、80%1RMの負荷を用いて通常で行う（1秒で挙げ、1秒で下ろす）場合と同等の筋量増大効果が得られたという報告がある（図10.10）。この方法（スロートレーニング、略してスロトレ）は、高齢者やトレーニングに不慣れな対象者にとっても効率よく筋量を増大させる有効な方法かもしれない。

④ スポーツと体組成

スポーツ選手の体組成については競技特性によって相違がみられるものの、望ましい体脂肪率は男子選手で5～13%、女子選手で12～22%であるとされる。柔道やレスリングなどの体重階級制のある競技では除脂肪量を増大あるいは保持しながら体脂肪を減少させる減量を行うが、この際には脱水やコンディション低下を伴うことがあり、注意が必要である。また、新体操やフィギュアスケートに代表される審美系競技では低体重、低体脂肪率を保持し、容姿の好印象を獲得することが競技成績につながると考えられている。しかしながら、長期間にわたる低体重、低体脂肪率は運動性無月経、摂食障害、骨粗鬆症といった、いわゆる女性競技者の三主徴を引き起こす恐れがある。

また、マラソンなどのように自分の体重を長時間に渡って移動させる競技においては体重が少ないほうが有利に働くため、日頃よりエネルギー消費量に見合うエネルギー摂取をせず、さらに体重と体脂肪率の減少を招く。その結果、審美系競技と同様に女性競技者の三主徴、貧血、疲労骨折などのリスクも高まることから注意が必要である。

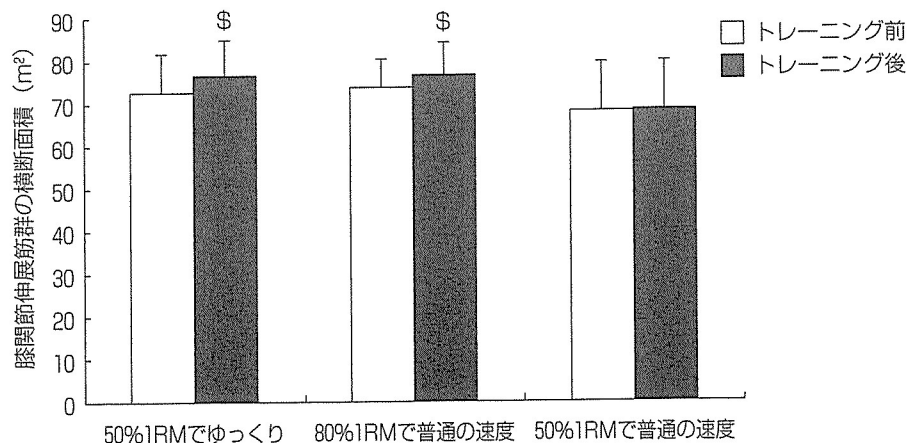


図10.10 異なる強度および速度のレジスタンストレーニングが筋量に及ぼす影響

\$はトレーニング前後に差があることを示す。

Tanimoto ら, Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men, *J. Appl. Physiol.*, 100, 1150 (2006), Fig. 8.

復習トレーニング



次の文章のカッコの部分に適切な言葉を入れなさい。

- ① 体組成は身体の構成要素を分けて考える考え方で、大きくは（ ）と（ ）に分けられる。
- ② 体組成に影響を及ぼすのは（ ）、（ ）、（ ）、（ ）、（ ）などである。
- ③ 脂肪を減少させるためには（ ）運動のトレーニングが適している。
- ④ 筋を増大させるためには（ ）トレーニングが適している。