

健康運動としての高強度運動

勝川史憲

はじめに

アメリカスポーツ医学会／アメリカ心臓協会は、「成人の一般的な健康目的の身体活動の指針」(2007)¹⁾において、「健康目的の身体活動は、中強度 30 分週 5 日以上、または高強度 20 分週 3 日以上、あるいは両者を混ぜて行って良い」としている。同じエネルギー消費量であれば、運動強度と運動時間は変換可能であるとするパラダイムを、この指針は明確に示している。

たしかに、健康運動、とりわけ代謝疾患の改善効果を最も規定する因子はエネルギー消費量であり、これは運動強度×運動時間に依存する。ただし、低強度の身体活動の有効性のエビデンスは不足しているので、中等度～高強度（中等度に近いレベル）の範囲で運動強度と運動時間は一般に相補的な意義を持つと言える（中等度でも運動時間を増やせば有効）。

中高年者の運動中の心筋梗塞の発症やそれによる突然死は、体力レベルの低い者が高強度の運動を急に始めた場合に起こりやすく²⁾、運動習慣のない者では、当初は安全性の観点から、高強度の運動は推奨できない。しかし、若年者では高強度の運動を安全に行えることが多いし、中高年者でも、中等度の強度のあいだに間欠的に高強度の運動を行うことは比較的容易で、運動に慣れてきた者では高強度の運動は可能なオプションとなる。

本稿では、肥満や代謝疾患について、中等度 vs. 高強度の運動の効果を比較したエビデンスを概観し、健康運動における高強度運動の有用性について検討する。

1. 運動強度の定義

まず、はじめに持久運動における運動強度の定義を確認しておく。運動強度には相対的および絶対的尺度があり、前者はさらに %max（ゼロと最大値の間の百分率）と %reserve（% 予備能；安静時の値と最大値の百分率）の 2 通りで定義される。体力レベルの低い者では %max と %reserve のズレが大きくなり、近年は後者の使用が推奨されている。定義上、両者にはズレがあるが、従来は低、中、高強度の運動を、いずれも酸素摂取量 (VO₂) でそれぞれ 20～39、40～59、60～85% のレベルと定義していた。^{3,4)} しかし、近年の身体活動指針⁵⁾ では、%reserve で 30～39、40～59、60～90% をそれぞれ低、中、高強度とし、これに相当する %max は体力レベル別に定義されている。

一方、絶対的尺度では、中および高強度をそれぞれ 3～6、>6 METs と定義することが多い⁵⁾。ただし、個人の体力レベルにより METs 数が同じでも相対強度は異なるので、年齢による目安が挙げられている⁵⁾。

2. 体重コントロールへの効果

1) グロス vs. ネットのエネルギー消費

運動強度とエネルギー出納の関係で問題となるのは、グロス (gross) とネット (net) のエネルギー消費量の区別である。運動のエネルギー消費量は、通常、安静時代謝を含むグロスの値で表される。しかし、運動しなくても安静時代謝の分は消費されるので、エネルギー出納に影響するのは、グロスから安静時代謝を差し引いたネットのエネルギー消費量ということになる。グロスのエ

エネルギー消費量が等しい場合、たとえば、時速4キロの歩行(3METs)×60分と時速8.3キロのジョギング(9METs)×20分は、ネットのエネルギー消費はそれぞれ(3-1)×1(MET・時)=2.1kcal/kg、(9-1)×0.33(MET・時)=2.8kcal/kgとなる。エネルギー出納に及ぼすインパクトは高強度の方が大きい計算で、高強度の運動が減量には有利と考えられる。

しかし実際に、異なる2つの運動強度でグロスのエネルギー消費量を揃えた介入試験(高い強度で運動時間が短い)では、運動強度で体重、体脂肪量、除脂肪体重の変化に差を認めない。^{6)~14)} 高強度のインターバルトレーニング(85~95%HRmax×4分、50~60%HRmax×3分の繰り返し)と中等度(60~70%HRmax)の持久運動でエネルギー消費量を揃えた介入試験¹⁵⁾も、前者で血管内皮機能の改善を認めるなどの差があるものの、体組成の変化の差は指摘されていない。

その理由として、

- 1) いくつかの研究^{1), 12), 15)}では、相対的運動強度と運動時間を群ごとに一定にコントロールしている(各群のエネルギー消費量が平均として等しい)。このため、各被験者の体力レベルの差にもとづくエネルギー消費量の個人間のバラつきが、誤差要因となった可能性がある。
- 2) 処方された運動量が週700~1250kcal程度と少ないものが多い(食事療法を併用したJakicicらの成績¹⁴⁾を除く)。このため、得られた体重減少が小さく、運動強度による差が検出できなかった可能性がある。また、食事療法(低エネルギー食)を併用した検討^{12)~14)}では、運動より食事療法のエネルギー出納に対するインパクトが大きかった。
- 3) 被験者のpeakVO₂がいずれも20.3~32.5ml/kg/分程度と低く、処方された2つの強度間のネットのエネルギー消費量の差が小さかった。

などの要因が考えられる。

ただし、腹部脂肪の変化をみると(運動強度で内臓脂肪面積の変化に差はないとする研究^{13), 16)}もあるが)高強度の運動が内臓脂肪¹⁷⁾・腹部皮下脂肪面積¹¹⁾・腹部脂肪量(DXA)¹⁸⁾の減少に有利とする成績があるのが注目される。運動療法の介入試験のメタアナリシスは、運動強度が高いほど内臓脂肪の動員が多くなる傾向を指摘しており¹⁹⁾、前向きコホート研究でも、腹囲の変化が、中等度、余暇時間、歩行の活動量とは関連せず、高強度の身体活動やスポーツ活動と負の関連を示すとする報告^{20), 21)}がある。高強度の運動は、交感神経の活性化などを介してエネルギー出納バランスに敏感な腹部脂肪組織の減少・増加予防に寄与する可能性があり、今後の検討課題である。

2) 運動強度とエネルギー基質の利用

運動強度が増すにつれ、エネルギー消費量は増加するがエネルギーの脂肪への依存比率は低下する。したがって、脂肪消費の絶対量(=エネルギー消費量×脂肪の利用比率)が最大となる点が途中に存在することとなる。この運動強度で運動することが減量に最も有利であるとする意見がある。

実際に、早朝空腹時に自転車エルゴメータによる1ステージ3分の多段階運動負荷試験を行い、各ステージの脂肪消費量を求めると、身体が大きく運動耐容能の高い(最大酸素摂取量;VO₂max=~60ml/kg/分)者で脂肪利用が最大となるポイントは、65%VO₂max程度となる²²⁾しかし、運動習慣のない者で脂肪利用が最大となるポイントは30~35%VO₂max(=25%VO₂reserve;VO₂R)の低強度となる(佐々木ほか、自験の成績)。一定時間、運動する場合に、低強度が最も減量に有利というのは、経験的には納得し難い。

そこで、実際に運動療法を行う状況を模して、食後1時間から60分間、3つの異なる強度(25%、50%、70%VO₂)で運動し、運動中~運動後3時間の脂肪利用を比較した(前述の自験成績)。25%VO₂Rは上記の多段階負荷試験で脂肪利用が最大となる強度、50%VO₂Rは通常の運動処方の強度、70%VO₂Rは運動習慣のない被験者が1時間運動可能な最大強度である。

結果は、運動開始後 20 分間の脂肪利用は $25\% > 50\% > 70\%VO_2R$ の傾向で、 $25\%VO_2R$ では、その後も運動中の脂肪利用が一定のまま推移した。一方、 50% 、 $70\%VO_2R$ では、運動継続とともに脂肪利用が増加し、増加の程度は $70\%VO_2R$ が大きかった。こうして運動中 60 分間でみると $25\% < 50\% < 70\%VO_2R$ と脂肪利用が増え、強度で脂肪利用の増加に有意なトレンドを認めた。運動終了時の血中カテコラミン、グリセロール、遊離脂肪酸も強度により増加する有意なトレンドを認め、高強度の運動では、運動継続とともに交感神経が活性化されて lipolysis が進み、脂肪利用が増加したものと推察された。

運動後は、時間経過とともにカテコラミンは低下する。しかし、脂肪利用はすべての運動強度で、運動後 1 時間目から 3 時間目にかけて次第に増加し、しかも強度が高いほど増加の程度は顕著であった。運動後 3 時間の脂肪利用もやはり $25\% < 50\% < 70\%VO_2R$ の有意なトレンドを認めた。運動中には脂肪の 4 倍の糖質が利用されており（食後の運動のため糖質の利用が多い）、高強度の運動ほど糖質が利用されて運動後は不足するため、運動後の脂肪利用が増加したものと推察された。

以上をまとめると、運動開始直後は多段階負荷試験の脂肪利用の結果を反映するが、運動継続とともに高強度の運動では脂肪利用が増加し、運動後は運動中の糖質利用を反映して脂肪利用が増加することとなる。食後に一定時間運動する状況では、各人が可能な最大強度で運動することが、エネルギー消費も脂肪利用も最大にする可能性が示唆された。

一方、代謝チェンバー内で、異なる強度で等エネルギーの運動を行った検討では、24 時間の基質利用は運動強度による差を認めていない^{23),24)}。中・高強度を 2.5 分ごとに繰り返す間欠的運動 (HIIEx) と低強度の持久的運動 (LEx) を比較した検討²⁴⁾ では、運動中の呼吸商 (RQ) は $HIIEx > LEEx$ 、運動後は $HIIEx < LEEx$ の関係にあり、24 時間では RQ に差を認めなかったという。これらの検討は等エネルギーの条件で行っている

ため、高強度の運動は短時間で終了し、運動継続による脂肪消費の増加が十分得られていない。したがって、運動時間を揃えた場合には、異なる所見が得られる可能性がある。実際の状況では、運動に割ける時間の制約がまずあり、強度が低いからといって長時間運動することが難しい。運動時間が一定の検討が、臨床上は意味があるのではないかと筆者はひとまず考えている。

さらには、トレーニングを重ねることで運動中の脂肪利用が変化するという報告⁹⁾ もあり、判断はより複雑となる。この成績⁹⁾ では、等エネルギーの設定で介入前の運動中の脂肪利用は高強度 ($70\%VO_{2max}$) の方が多かったが、12 週間のトレーニング後は、低強度 ($40\%VO_{2max}$) 運動群で運動中の脂肪消費が増加し、高強度 ($70\%VO_{2max}$) と同等のレベルになったという。

以上のように、運動中～運動後のエネルギー基質の利用には、運動強度、運動時間（1 回の消費エネルギー）、トレーニング状態、およびその変化が影響し、単純に多段階負荷試験で脂肪利用が最大となる強度が減量に有利、とは決して言えないことになる。もっとも、脂肪出納のアンバランスは最終的にエネルギー出納のアンバランスに一致する²⁵⁾ ことを考慮すると、運動強度によらずネットのエネルギー消費を最大とすることが、エネルギー出納および基質利用の面から見て最も減量に有効ということは言えるのではないかと思う。

3) 運動と NEAT

運動以外の身体活動 (non-exercise activity thermogenesis; NEAT) は、飢餓状態^{26),27)}、過食²⁸⁾ でそれぞれ減少または増加してエネルギー出納のアンバランスを調整する働きがある。NEAT は生活活動と、fidgeting や姿勢保持、筋トーンの維持に関わる非自発的な活動 (non-volitional activity) に分けられる。代謝チェンバー内の非自発的な身体活動 (spontaneous physical activity) は、前向き研究で体重増加に抑制的に働くことが指摘されており²⁹⁾ 体重コントロールに関わる metabolic な代償反応の一端を担っていると考えられる³⁰⁾。

運動を行うことによる NEAT の変化については、若年者では影響がない³¹⁾が、高齢者では NEAT の減少が指摘されており^{32),33)}肥満女性でも運動で NEAT が低下する場合がある^{34),35)}。肥満女性の検討では、NEAT の変化は体力レベルと関連することが指摘されており³⁶⁾、高強度の運動は中等度の強度に比べて NEAT が低下させることも指摘されている³⁷⁾。高強度の運動は、こうした対象で NEAT を減少させ、運動による総エネルギー消費量の増加効果を抑制する可能性がある。

4) 減量維持と高強度の運動

長期に減量体重を維持している者に対する調査では、減量維持者が大量の身体活動を行っていることが指摘されている³⁸⁾。同等のエネルギー消費（週 2000～2500kcal）が減量維持に有効であるとする複数のエビデンスがあり、肥満に対する身体活動指針^{39),40)}はこうした大量の身体活動を指示している。上記の減量維持者の調査では、身体活動量の 3 割を、ウェイトトレーニング、ランニング・ジョギング、ステアステップ、ステップエアロビクスなどの高強度の運動が占めることが報告されている³⁸⁾。大量のエネルギー消費を低～中等度の強度の身体活動のみでこなすのは困難で、肥満者が長期間運動を継続するうちに徐々に活動レベルを上げていった結果として、高強度を含む大量の身体活動が可能になったものであろう。

3. 高血圧・代謝疾患ほかへの効果

1) 高血圧

持久運動中は健常人でも 1MET あたり 8～12 mmHg の収縮期血圧の上昇を認める⁴¹⁾。このため高血圧患者では、安全性の観点から運動強度はより低い方が好ましいと考えられ、異なる強度の降圧効果の比較が数多くなされている。これらの検討は、運動強度を 40～50%と 65～70%VO₂reserve に設定したものが多く、等エネルギーの検討、運動時間を揃えた検討とも降圧効果に明らかな差はない。すなわち、この範囲の運動強度で降圧効果はほぼ同等と考えられる⁴²⁾。

一方、運動の急性効果として、1回の運動後 22 時間は血圧が低下することが知られている。運動時間（15、30 分）、運動強度（40、60%VO₂max）の異なる 4 通りの運動セッションで急性効果を比較した検討⁴³⁾では、いずれも運動後 9 時間まで同等の血圧低下を認めたという。このことは、急性の降圧効果は、40%VO₂max で運動時間が 15 分でも、60%VO₂max 30 分の運動と同等である可能性を示唆している。

2) 血糖、インスリン感受性

糖尿病患者における運動療法の介入試験のメタアナリシス⁴⁴⁾では、55～75%VO₂max の範囲で運動強度が高い程、グリコヘモグロビンの改善が大きい傾向を認めている。これを受けて、アメリカ糖尿病学会の運動指針は、可能であれば高強度の運動を行うことを推奨している⁴⁵⁾。

一方、インスリン感受性の改善については研究により所見が一致しない。強度/エネルギー消費量の異なる 3 種類の運動プログラムによる 8 ヶ月間の介入⁴⁶⁾では、中等度（40～55%VO₂max）/中等量（週 1200kcal）と高強度（65～80%VO₂max）/大量（週 2000kcal）ではインスリン感受性が改善したが、高強度/中等量では改善を認めなかった。前 2 者の運動時間が週 170 分であったのに対し、後者は 115 分だったことから、この研究では、インスリン感受性の改善には運動強度やエネルギー消費量は関係がなく、運動時間が重要であると結論した。しかし、別の検討⁴⁷⁾では、中 or 高強度（60%、80%VO₂max）それぞれ 1 回 400kcal×週 3 回、6 か月間の運動で、運動時間が週 150 分、115 分と異なるにも関わらず、同等のインスリン感受性改善が認められた。このため、著者らは、エネルギー消費量が等しい条件下では、インスリン感受性の改善に運動強度は影響しないと述べるにとどまっている。これに対し、他の検討⁴⁸⁾では、65%と 80%VO₂max でそれぞれ 1 回 300kcal×週 4 回、9 か月間運動させた。そして、インスリン感受性の改善は高強度群でより顕著で、運動強度がインスリン感受性改善に関与するという結果を得た。

以上3つの研究の所見が一致しないのは、対象の違い、介入前の群間のインスリン感受性のばらつき、運動強度や時間設定が異なることに加えて運動の種類が一定でなく^{46) 48)}、強度やエネルギー消費量の評価に曖昧さがある等の要因が影響した可能性がある。インスリン感受性改善に及ぼす運動強度、時間、エネルギー消費量の影響については、さらに検討が必要な状況である。

3) 脂質

運動で改善が期待される脂質代謝指標としては、インスリン感受性と関連するTG、HDL-C、LDL粒子径が挙げられる。強度/エネルギー消費量の異なる3種類の運動プログラムを比較した前記の介入研究⁴⁶⁾では、TGは高強度よりも中等度、HDL-C、LDL粒子径は中等度よりも高強度の運動でより顕著な改善を認めている⁴⁹⁾しかしそもそも運動による脂質指標の変化は複雑であり、HDL-Cは介入前に低値の者で改善しにくい、肥満者や女性では一般にHDL-C、TGが改善しにくい、女性では男性と異なり運動量とTG改善量の間用量-反応関係がない⁵⁰⁾といった個体の因子を考慮する必要がある。また、TG(男性)の改善にはエネルギー消費量が週1200kcal以上必要であり⁵⁰⁾HDL-Cの改善は1回の運動時間が30分以上で運動時間と比例する⁵¹⁾とされていることから、従来の運動処方(週1000kcal、1回の運動時間は30分程度が多い)の範囲では脂質の改善に有効な運動の条件が明確とならない可能性もある。こうした限られたエビデンスの範囲では、HDL-Cの改善について運動強度との関連はないとされている⁵⁰⁾

4) メタボリックシンドローム

観察研究において、アンケートで身体活動量を強度別に評価し、メタボリックシンドローム(MS)の有病率⁵²⁾や新規罹患率⁵³⁾を比較した検討では、中等度以下の運動・身体活動のMSリスク低下への関与はBMI補正後は有意でなくなり、高強度(5METs⁵²⁾または7.5METs⁵³⁾以上の運動やこれをよく反映するフィットネスレベル⁵³⁾⁵⁴⁾

が、肥満度と独立してMSの有病率⁵²⁾⁵⁴⁾・新規罹患率⁵³⁾低下と関連している。

一方、介入研究について見ると、強度/エネルギー消費量の異なる3種類の運動を比較した前記の研究⁴⁶⁾は、MSに対する効果も報告している⁵⁵⁾すなわち、MSを構成する各危険因子の分布から求めたzスコアの改善は、中強度/中等量で有意であったが、高強度/中等量では有意でなく、高強度/大量では中強度/中等量よりも顕著な改善を認めたという。しかしこの成績は、インスリン感受性に関する所見と同様、介入前のzスコアの群間の差が結果に影響している可能性がある。これに対して、1年間の食事and/or運動療法による他の介入試験の事後解析⁵⁶⁾では、介入前後でのVO₂maxの増加が、体重変化と独立してMSの改善に関与していた。高強度の運動はVO₂maxの増加により有利なので、高強度の運動はエネルギー出納とは独立してMS改善に寄与するかもしれない。運動量・時間・強度がMS改善に及ぼす影響についてはデータが不足しており、さらに検討を要する状態である。

5) 他の代謝疾患

血中尿酸値については、高強度の運動で上昇することが知られている。すなわち、無酸素あるいは高強度の運動でATPの消費が再合成を上回ると、2分子のADPからATPとAMPが産生、供給される。このとき生じたAMPがイノシン酸を経て最終的に肝臓で尿酸に変換される。また、腎血流量は運動強度に比例して低下し、50%VO₂max以上では尿酸を含む糸球体濾過量も減少する。さらに、運動による乳酸濃度の上昇は、AMPからイノシン酸への分解に関与するAMPデアミナーゼの活性化を介して乳酸産生を促進し、遠位尿管での尿酸の再分泌も抑制する。これらの因子は、いずれも高強度の運動中の血中尿酸濃度の上昇に関与する⁵⁷⁾

一方、骨密度については、荷重や筋力による比較的強い負荷が骨にかかる、高負荷(high impact)で低頻度の運動が望ましいとされている⁵⁸⁾

おわりに

運動強度が肥満や代謝疾患に及ぼす効果について概観した。運動強度に関するエビデンスは未だ不足しており、また、異なる運動強度で効果を比較した成績は、エネルギー消費量を揃えて比較したものが多く、その場合、運動強度による効果の差は明らかでないことも多いが、高強度の運動が有効な可能性が示唆されることも少なくない。

実際の状況では、運動に割ける時間に限りがあったり、運動強度が運動の実施時間に影響する可能性があり、エネルギー消費量に差が出ることも多いと思われる。たとえば、運動習慣のない者が運動を取り入れて短期間（6か月）では、中等度の強度に比べて高強度の方が運動実施時間が有意に短かったという報告⁵⁹⁾がある一方、「高強度の運動が中等度の運動に比べて有用性を認める研究の多くでは、高強度の運動の方が活動量も多い」との指摘もある⁵⁾。後者はすなわち、中強度と等エネルギーとなるよりも長い時間、高強度の運動が行われることを示唆している。高強度の運動は、同じエネルギー量を短時間で消費でき、同じ時間運動すればより多くのエネルギー消費が可能である。そして、運動時間を揃えた介入試験では、当然のことながら、高強度の運動の方がエネルギー消費量が大きく、体重・体脂肪量もより減少する⁶⁰⁾。

運動中の心イベントは高強度の運動を急に始めた場合に起こりやすい。このため、運動経験がなく体力レベルの低い者では、安全性の観点から当初は低～中等度の強度の運動が推奨される。低～中強度の運動・身体活動や日常の身体活動も、十分なエネルギー消費を行えば、種々の健康上のメリットがある。しかし、生活活動は、速足の歩行や自転車通勤を除くと、「中等度以上の強度の活動を日常生活で10分以上続けて行うことはほとんどない」¹⁾のが実情で、エネルギー消費量を増やすには、日常生活に上乘せして運動を行う必要があるだろう。とくに肥満に関連した代謝指標を改善・維持するには、大量のエネルギー消費が必

要であり、これを低～中等度の強度の運動・身体活動のみでこなすのは、膨大な時間を要し実践困難なことが多い。

高強度の運動は、除脂肪体重の維持・増加に有利な傾向にあるだけでなく、心肺持久力(VO₂max)^{11),12),13),15)}も向上させる。トレーニングによって、VO₂maxが増加すれば、相対的にはより低強度で大きなエネルギー消費が可能となる。

定期的な運動習慣や、高強度の運動トレーニングを反映した高い心肺持久力レベルは、疾患を有する者でも虚血性心疾患やその死亡リスクを減少させる⁶¹⁾したがって、当初は中等度の強度から運動を開始し、強度を徐々に上げながら運動に積極的に取り組むことがリスクの減少につながると考えられる²⁾。最も望ましいのは、体力レベルの高い若い年齢から、高強度の運動を導入・維持することであると言えるだろう。

文献

- 1) Haskell WL et al.: Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation* 116; 1081–1093, 2007.
- 2) American College of Sports Medicine and American Heart Association Joint Position Statement: Exercise and acute cardiovascular events: placing the risks into perspectives. *Med Sci Sports Exerc* 39; 886–97, 2007.
- 3) American College of Sports Medicine Position Stand: The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 30; 975–91, 1998.
- 4) Fletcher GF et al.: Exercise standards for testing and training: a statement for health care professionals from the American Heart Association. *Circulation* 104; 1694–1740, 2001.
- 5) American College of Sports Medicine Position Stand: Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc* 43;1334–1359, 2011.
- 6) Gaesser GA et al.: Effects of high- and low-intensity exercise training on aerobic capacity and blood lipids. *Med Sci Sports*

- Exerc* 16; 269–274, 1984.
- 7) Grediagin A et al.: Exercise intensity does not effect body composition change in untrained, moderately overfat women. *J Am Diet Assoc* 95; 661–665, 1995.
 - 8) Gutin B et al.: Effects of exercise intensity on cardiovascular fitness, total body composition, and visceral adiposity of obese adolescents. *Am J Clin Nutr* 75; 818–836, 2002.
 - 9) Van Aggel-Leijssen DPC et al.: Effect of exercise training at different intensities on fat metabolism of obese men. *J Appl Physiol* 92; 1300–1309, 2002.
 - 10) Slentz CA et al.: Effect of the amount of exercise on body weight, body composition, and measures of central obesity. *Arch Intern Med* 164; 31–39, 2004.
 - 11) Irving BA et al.: Effect of exercise training intensity on abdominal visceral fat and body composition. *Med Sci Sports Exerc* 40; 1863–1872, 2008.
 - 12) Ballor DL et al.: Exercise intensity does not affect the composition of diet- and exercise-induced body mass loss. *Am J Clin Nutr* 51; 142–146, 1990.
 - 13) Nicklas BJ et al.: Effect of exercise intensity on abdominal fat loss during calorie restriction in overweight and obese post menopausal women: a randomized, controlled trial. *Am J Clin Nutr* 89; 1043–1052, 2009.
 - 14) Jakicic JM et al.: Effect of exercise duration and intensity on weight loss in overweight, sedentary women: a randomized trial. *JAMA* 290; 1323–1330, 2003.
 - 15) Schjerve IE et al.: Both aerobic endurance and strength training programmes improve cardiovascular health in obese adults. *Clin Sci* 115; 283–293, 2008.
 - 16) Slentz CA et al.: Inactivity, exercise, and visceral fat. STRRIDE: a randomized, controlled study of exercise intensity and amount. *J Appl Physiol* 99; 1613–1618, 2005.
 - 17) Coker RH et al.: Influence of exercise intensity on abdominal fat and adiponectin in elderly adults. *Metab Syndr Relat Disord* 7; 363–368, 2009.
 - 18) Hansen D et al.: Continuous low- to moderate-intensity exercise training is as effective as moderate- to high-intensity exercise training at lowering blood HbA1c in obese type 2 diabetes patients. *Diabetologia* 52; 1789–1797, 2009.
 - 19) Cargill L et al.: Effects of exercise or diet interventions on visceral fat and subcutaneous abdominal fat: a meta-analysis. *Int J Obes* 32(suppl. 1); S25, 2008.
 - 20) Wagner A et al.: Leisure-time physical activity and regular walking or cycling to work are associated with adiposity and 5 y weight gain in middle-aged men: the PRIME Study. *Int J Obes* 25; 940–948, 2001.
 - 21) Berentzen T et al.: Physical activity in leisure-time is not associated with 10-year changes in waist circumference. *Scand J Med Sci Sports* 18; 719–727, 2008.
 - 22) Achten J et al.: Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med Sci Sports Exerc* 34; 92–97, 2002.
 - 23) Melanzone EL et al.: Effect of exercise intensity on 24-h energy expenditure and nutrient oxidation. *J Appl Physiol* 92; 1045–1052, 2002.
 - 24) Saris WHM et al.: Substrate oxidation differences between high- and low-intensity exercise are compensated over 24 hours in obese men. *Int J Obes* 28; 759–765, 2004.
 - 25) 勝川史憲：脂質代謝のスケール：基質の酸化特性とエネルギー出納バランス・肥満・インスリン感受性の関連。体育の科学 54; 191–196, 2004.
 - 26) Weyer C et al.: Energy metabolism after 2 y of energy restriction: the Biosphere 2 experiment. *Am J Clin Nutr* 72; 946–953, 2000.
 - 27) Keys A et al.: *The biology of human starvation*, vols. I,II. University of Minnesota Press, Minneapolis, MN, 1950.
 - 28) Levine JA et al.: Role of nonexercise activity thermogenesis in resistance to fat gain in humans. *Science* 283; 212–214, 1999.
 - 29) Zurlo F et al.: Spontaneous physical activity and obesity: cross-sectional and longitudinal studies in Pima Indians. *Am J Physiol* 263; E296–E300, 1992.
 - 30) King NA et al.: Metabolic and behavioral compensatory responses to exercise interventions: barriers to weight loss. *Obesity* 15; 1373–1383, 2007.
 - 31) Westerterp KR: Impacts of vigorous and non-vigorous activity on daily energy expenditure. *Proc Nutr Soc* 62; 645–650, 2003.
 - 32) Goran MI et al.: Endurance training does not enhance total energy expenditure in healthy elderly persons. *Am J Physiol* 263; E950–E957, 1992.
 - 33) Meijer EP et al.: Effect of exercise training on total daily physical activity in elderly humans. *Eur J Appl Physiol* 80; 16–21, 1999.
 - 34) Racette SB et al.: Effects of aerobic exercise and dietary carbohydrate on energy expenditure and body composition during weight reduction in obese women. *Am J Clin Nutr* 61; 486–494, 1995.
 - 35) Kempen KPG et al.: Energy balance during an 8-wk energy-restricted diet with and without exercise in obese women. *Am J Clin Nutr* 62; 722–729, 1995.
 - 36) Colley RC et al.: Exercise-induced energy expenditure: implications for exercise prescription and obesity. *Patient Educ Couns* 79; 327–332, 2010.

- 37) Wang X et al.: Acute impact of moderate-intensity and vigorous-intensity exercise bouts on daily physical activity energy expenditure in postmenopausal women. *J Obes* 2011; Article ID 342431, 2011.
- 38) Klem ML et al.: A descriptive study of individuals successful at long-term maintenance of substantial weight loss. *Am J Clin Nutr* 66; 239–246, 1997.
- 39) Saris WHM et al.: How much physical activity is enough to prevent unhealthy weight gain? Outcome of the IASO 1st Stock Conference and consensus statement. *Obes Rev* 4; 101–114, 2003.
- 40) American College of Sports Medicine Position Stand: Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain in adults. *Med Sci Sports Exerc* 41; 459–471, 2009.
- 41) American College of Sports Medicine Position Stand: Exercise and hypertension. *Med Sci Sports Exerc* 36; 533–553, 2004.
- 42) 勝川史憲：高血圧の運動療法：チェックポイント、注意点、指導方法. *臨床スポーツ医学* 23; 1467-72, 2006.
- 43) Guidry MA et al.: The influence of short and long duration on the blood pressure response to an acute bout of dynamic exercise. *Am Heart J* 151; 132.e5–132.e12, 2006.
- 44) Boule NG et al.: Meta-analysis of the effect of structured exercise training on cardiorespiratory fitness in type 2 diabetes mellitus. *Diabetologia* 46; 1071–81, 2003.
- 45) American College of Sports Medicine / the American Diabetes Association Joint Position Statement: Exercise and type 2 diabetes. *Med Sci Sports Exerc* 42, 2282–2303, 2010.
- 46) Houmard JA et al.: Effect of the volume and intensity of exercise training on insulin sensitivity. *J Appl Physiol* 96; 101–06, 2004.
- 47) O'Donovan G et al.: The effects of 24 weeks of moderate- or high-intensity exercise on insulin resistance. *Eur J Appl Physiol* 95; 522–28, 2005.
- 48) DiPietro L et al.: Exercise and improved insulin sensitivity in older women: evidence of the enduring benefits of higher intensity training. *J Appl Physiol* 100; 142–46, 2006.
- 49) Kraus WE et al.: Effects of the amount and intensity of exercise on plasma lipoprotein. *N Engl J Med* 347; 1483–92, 2002.
- 50) Durstine JL et al.: Blood lipid and lipoprotein adaptations to exercise: a quantitative analysis. *Sports Med* 31; 1033–62, 2001.
- 51) Kodama S et al.: Effect of aerobic exercise training on serum levels of high-density lipoprotein cholesterol: a meta-analysis. *Arch Intern Med* 167; 999–1008, 2007.
- 52) Rennie KL et al.: Association of the metabolic syndrome with both vigorous and moderate physical activity. *Int J Epidemiol* 32; 600–06, 2003.
- 53) Laaksonen DE et al.: Low level of leisure-time physical activity and cardiorespiratory fitness predict development of the metabolic syndrome. *Diabetes Care* 25; 1612–18, 2002.
- 54) Lakka TA et al.: Sedentary lifestyle, poor cardiorespiratory fitness, and the metabolic syndrome. *Med Sci Sports Exerc* 35; 1279–1286, 2003.
- 55) Johnson JL et al.: Exercise training amount and intensity effects on metabolic syndrome (from Studies of a Targeted Risk Reduction Intervention through Defined Exercise). *Am J Cardiol* 100; 1759–66, 2007.
- 56) Anderssen SA et al.: Combined diet and exercise intervention reverses the metabolic syndrome in middle-aged males: results from the Oslo Diet and Exercise Study. *Scand J Med Sci Sports* 17; 687–695, 2007.
- 57) Poortmans JR et al.: Kidney function during exercise in healthy and diseased humans: an update. *Sports Med* 18; 419–37, 1994.
- 58) American College of Sports Medicine Position Stand: Physical activity and bone health. *Med Sci Sports Exerc* 36; 1985–96, 2004.
- 59) Perri MG et al.: Adherence to exercise prescriptions: effects of prescribing moderate versus higher levels of intensity and frequency. *Health Psychol* 21; 452–458, 2002.
- 60) Bryner RW et al.: The effects of exercise intensity on body composition, weight loss, and dietary composition in women. *J Am Col Nutr* 16; 68–73, 1997.
- 61) Blair SN et al.: Effects of physical inactivity and obesity on morbidity and mortality: current evidence and research issues. *Med Sci Sports Exerc* 31; S646–S662, 1999.