健康支援
第14巻2号　7-14，2012

メタボリックシンドロームに対する高強度運動の有効性

江藤　幹[1)]、山田　陽介[2) 3) 4)]

Effectiveness of high-intensity exercise on metabolic syndrome

Miki ETO[1)] , Yosuke YAMADA[2) 3) 4)]

Abstract

Since physical inactivity is one of the independent risk factors for developing metabolic syndrome, increasing physical activity could be an effective way to reduce cardiovascular risks. High-intensity exercise has been known to be more effective in improving health than low-intensity exercise when matching the exercise duration. Furthermore, recent literatures suggest that high-intensity exercise improves various health outcomes, to a greater extent, even at the same amount of energy expenditure. If we can get health benefits in high-intensity exercise for a shorter duration, it will be highly valuable for busy modern humans.

Keywords : high-intensity exercise, metabolic syndrome, exercise duration, energy expenditure

1）筑波大学大学院人間総合科学研究科
〒305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1　電話 029-853-5600（ext: 8365）　電子メール eto@stat.taiiku.tsukuba.ac.jp
Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577, Japan　Phone: +81-29-853-5600（ext: 8365）　E-mail: eto@stat.taiiku.tsukuba.ac.jp
2）福岡大学大学院スポーツ健康科学研究科
Graduate school of Sports and Health Science, Fukuoka University
3）京都府立医科大学医学部看護学科
School of Nursing, Kyoto Prefectural University of Medicine
4）日本学術振興会特別研究員
Japan Society for the Promotion of Science

健康支援
第14巻2号　7-14，2012

はじめに

メタボリックシンドロームは、内臓脂肪の過剰蓄積に加え、血圧高値や脂質代謝異常、血糖高値を複数合併する循環器系疾患易発症状態と定義される[1)]。平成20年の国民健康・栄養調査によると、わが国におけるメタボリックシンドローム該当者および構成因子保有者数は年々増加しており、その割合は特に中年男性に顕著である[2)]。メタボリックシンドロームは長期間、慢性的に持続することで動脈硬化の進展を惹起し、循環器系疾患の罹患リスクや死亡リスクを高めるため、その予防改善策を講じることは急務である[3)]。本邦では、メタボリックシンドロームを含む生活習慣病の予防として、「１に運動、２に食事、しっかり禁煙、最後にクスリ」のスローガンに代表されるように、運動実践を推奨している[4)]。

運動実践によってメタボリックシンドロームが予防、改善されることは多くの研究によって検証されているが、運動の強度や量によって得られる効果は異なる可能性がある。加えて、国や地方の行政的側面から、多数の住民を対象とした際に有効で実施可能な運動様式を提案することも必要である。

本稿では、メタボリックシンドロームの予防・改善のために、１）低強度の運動で十分な効果が得られるのか、２）高強度運動を広く展開することは低強度運動の展開よりも難しいのか、という２点について議論を深め、高強度運動の有用性を論じたい。１）については、エビデンスの強さを考えると、大規模で長期的な介入研究（１年以上）の存在が切望されるが、介入研究では短～中期的な結果（１年未満）しか得られないという問題点があることから、縦断的なコホート研究も含めて論じる必要があると考えた。介入研究のレビューでは、高強度運動と低強度運動を比較する際に、運動時間を同一にする、運動量（エネルギー消費量）を同一にするといった従来の考え方に加えて、短時間で高強度運動を実施する高強度インターバルトレーニング（high-intensity interval training：HIT）の効果についても論じる。２）については、近年のHITに関する研究成果を踏まえ、非常に短い時間と少ない頻度で効果を得られる方法を提示するとともに、坂道や階段など日常生活で可能な高強度運動の形式を提示し、高強度運動をポピュレーションアプローチとして展開する方法についても論じる。

メタボリックシンドロームの予防、改善に低強度運動は効果的か

短～中期的な運動介入によって、体重、内臓脂肪、中性脂肪、血圧が減少し、HDLコレステロールが増加し、インスリン感受性が改善することが明らかになっている。運動介入によって生じる各因子の改善は、体重減少と独立して生じる可能性も示唆されている。このようにメタボリックシンドロームの各因子に運動が短～中期的に与える効果は明らかにされている一方で、日常生活中の長期にわたる身体活動の強度がメタボリックシンドロームの発症に与える影響を調べた研究は少ない。また、有酸素性作業能（$\dot{V}O_2max$）で評価される身体能力がメタボリックシンドロームや心疾患の発症に関連することは数多く報告されている[5, 6)]が、身体活動の強度と有酸素性作業能の両方を同時に調べたうえで、身体活動がメタボリックシンドロームの発症に与える影響を縦断的に調べた研究は極めて少ない。そのような中、Laaksonen et al.[6)]は、フィンランドの地域在住男性612人（42～60歳）の有酸素性作業能と日常生活中の身体活動を調べて、その後４年間追跡調査した結果を報告している。ベースライン調査でメタボリックシンドロームのない対象者のうち、４年間で17.5%の者がメタボリックシンドロームの基準に該当した。日常生活中の身体活動を、低強度（4.5METs [metabolic equivalents] 未満）、中強度（4.5～7.5METs）、高強度（7.5METs以上）に分けて、それぞれの週当たりの活動時間を算出し、メタボリックシンドローム発症との関連を調べたところ、高強度運動は有意な関連を示したのに対し、低～中強度の身体活動はメタボリックシンドローム発症と有意な関連を示さなかった。高強度運動を週に60分以上実施している群では、10分未満の群に比べて、メタボリックシンドローム発症の調整済み（年齢、BMI、ウェスト/ヒップ比に加えメタボリックシンドロームに関わる因子で調整）オッズ比は0.36（95%信頼区間：0.19～0.70）であった。週に10～59分実施している群のオッズ比は、0.60（0.33～1.09）であり、トレンドも有意であった（P=0.009）。一方、低強度運動を週に271分以上実施している群は、111分未満の群に比べてオッズ比0.66（0.34～1.28）、111～270分実施群のオッズ比は0.97（0.52～1.79）であり、有意なトレンドを示さなかった（P=0.41）。高強度運動実施時間とメタボリックシンドローム発症との関連は、$\dot{V}O_2max$や低強度運動実施時間とは独立していた。さらにベースライン調査時点での高リスク者においては、高強度運動を週に60分以上実施している群では、10分未満の群に比べて、メタボリックシンドローム発症のオッズ比は0.25（0.11～0.55）とより強い関係を示した。この結果は、高強度運動が高リスク者におけるメタボリックシンドローム発症を予防するうえで非常に効果的であることを示唆している。また、$\dot{V}O_2max$もメタボリックシンドローム発症の関連因子であり、低体力で高強度運動を週10分未満しか実施していない者は、高体力で高強度運動を週60分以上実施している者に比べ７倍もメタボリックシンドローム発症リスクが高まるとい

表1．大規模調査における運動強度とメタボリックシンドロームの関係

研究	調査期間と研究デザイン	対象者の特徴	群の設定			主な結論
			高強度	中強度	低強度	
Laaksonen et al.[6]	4 年間の前向きコホート	612 人（男） 42～60 歳 25.5 ± 3.2～28.0 ± 4.4 kg/m^2	7.5 METs min/week 以上	4.5 ～ 7.5 METs min/week	4.5 METs min/week 未満	・高強度運動活動時間のみがメタボリックシンドロームの発症と有意に関連する． ・高強度運動を週 10 分未満しかしていない低体力者は，高強度運動を週 60 分以上している高体力者に比べ，メタボリックシンドロームの発症リスクは 7 倍に高まる．
Littman et al.[7]	8～12 年間の後ろ向きコホート	15500 人 （男: 7556 人，女: 7944 人） 53～57 歳	6 METs hour/week 以上	4 ～ 6 METs hour/week	4 METs hour/week 未満	・中強度や高強度の運動・スポーツの実施時間と体重変化は関連する． ・中強度運動と高強度運動との間に明らかな差異は認められず，両方有効である．
Tremblay et al.[8]	横断調査	2623 人 （男: 1257 人，女: 1366 人） 20～29 歳	9 METs 以上	7 ～ 9 METs	5 ～ 7 METs	5 METs 未満	・5 METs 以上の活動をしていない人は，9 METs 以上の活動をしている人と比べ，$\dot{V}O_2max$ が低く，腹囲が大きく，体脂肪が少なかった．

MET: metabolic equivalents,

表2．介入研究における運動強度とメタボリックシンドロームの関係（運動時間が同じ場合）

研究	介入期間と研究デザイン	対象者の特徴	群の設定		主な結論
			高強度	中強度	
Johnson et al. [9]	8 ヵ月間 ランダム化比較試験	171 名（男: 91 名，女: 80 名） 40 ～ 65 歳 25 ～ 35 kg/m^2	60 ～ 80%$\dot{V}O_2max$	40 ～ 55% $\dot{V}O_2max$	中強度運動でも腹囲，中性脂肪，インスリン感受性の改善を認め，高強度運動ではさらに BMI と血圧も改善した．
Slentz et al.[10]	8 ヵ月間 ランダム化比較試験	175 名（男: 91 名，女: 84 名） 40 ～ 65 歳 25 ～ 35 kg/m^2	60 ～ 80% $\dot{V}O_2max$	40 ～ 55% $\dot{V}O_2max$	中強度運動に比べ，高強度運動でより体重，内臓脂肪，皮下脂肪，総脂肪が減少し，除脂肪量が増加した

BMI: body mass index

表3. 介入研究における運動強度とメタボリックシンドロームの関係（運動量が同じ場合）

研究	介入期間と研究デザイン	群の設定		主な結論
		高強度	中強度	
Irving et al.[13]	ランダム化比較試験 17 名（女）, 51 ± 9 歳 34 ± 6 kg/m^2 16 週間	・ LT 以上の運動を週 3 日 ・ LT 以下の運動を週 2 日	・ LT 以下の運動を週 5 日	体重減少は同程度であるが，高強度運動の方が腹部脂肪の減少が大きく，$\dot{V}O_{2max}$ もより改善した.
DiPietro et al.[14]	ランダム化比較試験 25 名（女）, 73 ± 10 歳 30 kg/m^2 未満 9 ヵ月間	・26.3 ± 3.0 kg/m^2 ・80% $\dot{V}O_{2peak}$	・28.0 ± 4.5 kg/m^2 ・65% $\dot{V}O_{2peak}$	高強度運動でのみ，インスリン感受性が改善した.
Cox et al.[15]	ランダム化比較試験 51 名（男）, 20 ～ 50 歳 16 週間	・60 ～ 70% $\dot{V}O_{2max}$ を週 3 日 ・運動のみ群と運動に食事制限を併用する群	・ 柔軟性運動を週 2 日 ・ 運動のみ群と運動に食事制限を併用する群	高強度運動は，$\dot{V}O_{2max}$，空腹時血糖，およびインスリン感受性を改善した.
Jakicic et al.[16]	ランダム化比較試験 201 名（女）, 21 ～ 45 歳 27 ～ 40 kg/m^2, 12 ヵ月間	主観的運動強度 13 ～ 15	主観的運動強度 10 ～ 12	運動強度よりも，運動時間が体重減少や有酸素性作業能の改善に関係する.
Sasai et al.[17]	非ランダム化比較試験 37 名（男）, 47.6 ± 8.6 歳 25 kg/m^2 以上, 12 週間	高強度運動を 34.3 min/week 以上	高強度運動を 34.3 min/week 未満	高強度運動の実施時間が長い方が腹部脂肪を減少する. ※群の設定は，高強度運動の実施時間による.
Tjonna et al.[18]	ランダム化比較試験 28 名（男: 13 名，女: 15 名） 52.3 ± 3.7 歳, 16 週間	・ 90%Hfmax を 4 分，70%Hfmax アクティビティリカバリを 3 分×4 セット ・ 29.4 ± 4.9 kg/m^2	・ 90%Hfmax を 4 分, 70%Hfmax アクティビティリカバリを 3 分×4 セット ・ 29.8 ± 5.5 kg/m^2	高強度運動は, $\dot{V}O_{2max}$ やメタボリックシンドローム関連因子の改善が大きかった.
Nybo et al.[19]	非ランダム化比較試験 36 名（男）, 20 ～ 43 歳 12 週間	2 分間の 95%HRmax×5 セット×2 回を週 2 日	65% $\dot{V}O_{2max}$ を 480 min/week	・ HDL コレステロール，体脂肪率の改善は中強度運動のみで有意した. ・ インスリン感受性は，高強度運動および中強度運動で有意に改善した. ・ $\dot{V}O_{2max}$ は高強度運動で有意に改善した.

LT: lactate threshold, HR: heart rate, HDL: high-density lipoprotein

う結果であった。この結果を踏まえると、高強度運動を定期的に実施し、$\dot{V}O_2$maxを高めておくことが、メタボリックシンドローム発症を予防するうえで非常に効果的であるといえる。

運動の種類や強度と８～12年間の体重変化に注目した研究としては、後ろ向きコホート研究であるが、Littman et al.の報告[7]がある。この研究では、西ワシントン州に住む１万５千人以上の住民（53～57歳）に、現在と45歳時の体重、および過去10年間の余暇身体活動を質問紙法によって調査し、両者の関連を調べている。その結果、中強度や高強度のウォーキング、あるいはジョギングといった多くの運動・スポーツの実施時間と体重変化に関連があった。この研究では、中強度運動と高強度運動との間に明らかな差異は認められず、両方有効であると結論付けている。しかし、これは体重のみに注目している点で解釈に注意が必要かもしれない。やや古い研究ではあるが、Tremblay et al.の2623人のカナダ国民（20～49歳）を対象とした1981年の調査[8]によると、ミネソタ余暇活動質問票と同様の方法で調査した身体活動において、５METs以上の活動をしていないと報告した人は、９METs以上の活動をしていると報告した人と比べて、体重やBMI、臀囲には差がないにもかかわらず、$\dot{V}O_2$maxが低く、腹囲が大きく、体脂肪も多かった。この傾向は、５METs以上の活動をしていない群、５～７METsの活動をしているが７METs以上の活動をしていない群、７～９METsの活動をしているが９METs以上の活動をしていない群、９METs以上の活動をしている群の順序性が成り立っていた。また、運動介入によって生じるメタボリックシンドローム改善効果は、体重減少と独立して生じる可能性も示唆されていることから、体重変化だけに注目することなく、総合的なメタボリックシンドロームの予防、改善効果を評価する必要がある。

このようにメタボリックシンドローム発症と運動強度との関係を調べた縦断的コホート研究は数が少なく、今後さらなる研究が必要であるが、積極的な高強度運動の実施とそれに伴う有酸素性作業能の向上がメタボリックシンドローム発症リスクを下げる可能性が高いと考えられる。

メタボリックシンドロームの予防、改善における低強度運動と高強度運動の効果の比較

1．運動時間が同一の場合

同じ時間運動するのであれば、より効果的な方法を選択したいと考える場合、運動強度を変えることはメタボリックシンドロームの改善度に影響するだろうか。Johnson et al.は、40～65歳のBMI 25～35 kg/m^{2}のアメリカ在住男女171人を対象に、40%～55%$\dot{V}O_2$maxの中強度運動と65%～80%$\dot{V}O_2$maxの高強度運動を週200分、８ヵ月間を実施するランダム化比較試験を検討した[9]。その結果、中強度運動群においても有意にメタボリックシンドロームの改善が認められ、腹囲、中性脂肪、インスリン感受性が改善した。一方、高強度運動群では上記の項目に加えて、BMI、血圧にも有意な効果が得られた。また、Slentz et al.の報告では、中強度運動群に比べて高強度運動群でより大きな体重、内臓脂肪、皮下脂肪、総脂肪の減少が認められ、より大きな除脂肪量の増加が観察された[10, 11]。７か所の保健指導機関での683例を対象として積極的支援の効果を検証した村本らの研究[12]によると、体重減少率が高いほどメタボリックシンドロームの構成因子の検査値や判定基準該当率の低下が大きいと報告されている。このことから、同じ時間をかけて運動を実践する場合、中強度運動よりも高強度運動によってメタボリックシンドロームの構成因子がより改善し、より高い健康利益が得られると推察される。したがって、メタボリックシンドローム改善に対して強い意思を持ち、狭心症などの高強度運動に対するリスクを持たない人であれば、高強度運動という選択肢は有効であると考えられる。

2．運動量が同一の場合

上述の議論において、高強度運動では消費されるエネルギーが多い分、改善効果が高いのは当然とも考えられる。そこで、運動によるエネルギー消費量を同一にした研究に着目する。これに関しては、研究間で結果が一致しない。Irving et al.[13]は、週５日乳酸閾値（lactate threshold：LT）以下の運動を実施した場合（low-intensity exercise training：LIET）と、週３日LTより上の強度の運動と週２日LT以下の運動を交互に実施した場合（high-intensity exercise training：HIET）とで、エネルギー消費量を同じように設定した際に減少する体重は同一でも、HIETで腹部脂肪の減少量が大きく、$\dot{V}O_2$maxもより増加することを報告している。また、DiPietro et al.[14]は、60歳以上でBMI 30 kg/m^{2}未満の女性に80%$\dot{V}O_2$peakと65%$\dot{V}O_2$peakの運動を、エネルギー消費量を同一にして９ヵ月間実施したところ、すべての群で身体組成や$\dot{V}O_2$peakに有意な改善は認められなかったものの、高強度運動のみでインスリン感受性が改善されたことを報告している。さらに、Cox et al.[15]は、20～50歳の過体重および肥満男性を対象に、1000～1500 kcal/日に食事制限するか否かと、２つの運動強度（非常に軽い運動と最大負荷の60%～70%の自転車運動）の組み合わせで４群に分けた実験を行った。その結果、運動強度は身体組成や体重に影響を与えなかったが、$\dot{V}O_2$maxを向上させ、空腹時血糖を減少させ、インスリン感受性を改善した。

一方、先述したJohnson et al.の研究[9]では、65%～80%$\dot{V}O_2$maxの高強度運動の実施日数を週120分と少なくし、中強度運動群とエネルギー消費量を同一にした群が設定されている。その結果では、運動実施日数と実施時間の多い中強度運動のほうがメタボリックシンドローム構成因子を改善させた。しかしながら、同一グループのSlentz et al.の報告では、体重や身体組成の変化には両群で変化がなかった[10, 11]。また、Jakicic et al.[16]は、21～45歳のBMI 27～40 kg/m^{2}のアメリカ在住女性201人に、1200～1500 kcal/日の食事制限をしながら、２つの運動強度（Borgスケールによる主観的運動強度が約12と13）で２つの異なる運動時間の介入を実施し、運動強度よりも運動時間が体重減少や有酸素性作業能の向上と関係することを報告している。しかし、この研究では非監視下での運動実施であったため、両群の運動強度に大きな差が生じなかったことが研究の限界として挙げられる。

これらの結果を踏まえると、高強度運動と中強度運動の効果を同じエネルギー消費量で比較すると、運動実施日数や総運動時間がより重要で、強度よりも量の追求が良い結果を示すと考えられる。一方、観点はやや異なるもののSasai et al.[17]は、メタボリックシンドロームを改善するための運動介入の実施期間において、身体活動量を加速度計で計測し、エネルギー消費量に差がなく６METs以上の高強度運動の実施量に差のある２群間で、内臓脂肪の減少量に群間差が認められたことを報告している。高強度運動で腹部脂肪が減少することを報告したIrving et al.の報告[13]と合わせて考えると、内臓脂肪を減少させるためには、高強度運動を組みこむことが効果的であることが示唆される。

３. 短時間、低頻度での高強度インターバルトレーニング

近年、高強度インターバルトレーニング（HIT）のメタボリックシンドロームに対する有用性が検討されている。Tjonna et al.[18]は、最大心拍数の70%でウォーミングアップ後、90%強度の運動を４分、70%強度のアクティブリカバリーを３分間挟みながら、合計４セット実施するHITと、70%強度での同じ消費エネルギーの中強度運動との効果の差異を、メタボリックシンドロームを有する対象者において比較した。その結果、HITでは$\dot{V}O_2$maxの増加量が大きく、メタボリックシンドローム関連因子の改善も大きかった。さらに血管内皮機能、骨格筋組織や脂肪組織のインスリン感受性の向上、脂質合成の抑制などが認められた。さらに、Nybo et al.[19]は、HITをウォーミングアップ込みで１日20分（２分間の95%HRmax強度運動を５セット）週２回（計40分）実施した場合と、65%$\dot{V}O_2$maxの運動をウォーミングアップ込みで週480分実施した場合の効果を比較した。その結果、HDLコレステロールや体脂肪率に対しては、中強度運動のみで有意な効果が得られたが、インスリン感受性は両群で同程度に改善し、$\dot{V}O_2$maxはHITでより大きな改善が認められた。$\dot{V}O_2$maxはメタボリックシンドロームと独立した心疾患リスクであることが明らかにされており、このことを考えると、非常に短時間でありながらHITが健康増進に与える効果は大きいと考えられる。さらに、脂肪減少に対する効果は食事制限の影響が大きいことから、食事制限と短時間のHITを組み合わせることで、メタボリックシンドロームおよび心疾患リスクを効果的に低減させることができる可能性がある。これに関連して、Cox et al.[15]は、1000～1500 kcal/日の食事制限と、最大負荷の60%～70%の自転車運動（高強度運動）を週あたり90分組み合わることで、体重や体脂肪が減少し、$\dot{V}O_2$maxが向上し、空腹時血糖やインスリン感受性が改善することを報告している。したがって、HITを利用することで、より少ない食事制限と運動時間でメタボリックシンドロームの改善効果が得られるかもしれない。

高強度運動実践の実際

上述の通り、メタボリックシンドロームの予防・改善には、高強度の運動実践が望ましいことが示唆されている。そこで、健康支援の立場から、その実現可能性について検討する。

Sallis et al.[20]の研究によれば、中強度運動のほうが高強度運動よりも継続しやすいとされているが、Rhodes et al.[21]が10本の先行研究を系統的にレビューした結果、高強度運動と低強度運動の継続率に差がないことを報告している。さらにVisek et al.[22]は、運動強度ではなく、運動プログラム各回の実施時間が、プログラム継続率と強い負の相関関係（$r=-0.72, P<0.01$）にあることを示し、80%$\dot{V}O_2$peakで45分間実施した高強度運動プログラムのほうが、65%$\dot{V}O_2$peakで70分間実施した中強度運動プログラムよりも参加継続率が高かった。これらの報告より、プログラムの継続率や完遂率を高めるためにも、短時間で高い改善効果を得られる高強度の運動が有効であると考えられる。一方で、高強度運動は心臓突然死や急性心筋梗塞の危険性を急性かつ一時的に高めることが報告されている。高強度運動を実施した場合の突然死の発生率は、年間15000～18000人にわずか１人の割合であると推定され、心臓発作の発症率としては低いものの、低強度運動と比較すると高率である。また、運動に不慣れである人ほど心臓発作やけがの危険性が増すため、実際

に高強度運動に取り組む場合は注意を要する[23]。

内閣府による体力・スポーツに関する世論調査[24]の結果では、運動を実施していない人における運動しない理由の第一位は「仕事（家事・育児）が忙しくて時間がないから」(45.9%）である。短時間で健康効果が得られる高強度運動あるいはHITは、時間のない現代社会にとって適していると考えられる。最近の報告[25-27]では、10秒や30秒といったごく短時間のHITにも糖代謝改善や$\dot{V}O_2$max改善の効果が認められていることから、昼休みや帰宅後に階段等を用いてごく短い時間で運動実践するといった選択肢もあり得るのではないかと考えられる。

まとめ

本邦では、「健康日本21」において国民に運動実践を推奨しているが、その結果は伴っていないのが実情である。今後実施してみたい運動や現在の運動実施率の第一位にはウォーキングがあげられるが、ウォーキングで健康効果を得ようとすれば長い運動時間が必要となる。高強度運動は、短時間であれば、階段・坂道などでも実施可能であり、スポーツ種目のバリエーションも多いため、様々な選択肢を与えることができる。高強度運動の持つ危険性については十分に配慮した上で、「メタボリックシンドロームの予防・改善には低～中強度運動」という固定観念を取り払い、高強度運動も選択肢のひとつに加えることが、健康支援策として有用であると考える。

謝辞

本稿は、第12回日本健康支援学会年次学術集会プレカンファレンス（2011年２月18日）において開催された「健康支援に関わる若手研究者による運動と栄養に関するディベート」の内容の一部をまとめたものである。

ディベートの開催をご支援下さいました熊谷秋三先生、林直亨先生（九州大学）をはじめとする大会運営者の皆様、ならびに、企画調整にご尽力下さいました、中田由夫先生（筑波大学）、大河原一憲先生（国立健康・栄養研究所、現電気通信大学）、飛奈卓郎先生（福岡大学、現長崎県立大学）をはじめとする健康支援若手の会の皆様に、記して感謝の意を表します。

文献

1．メタボリックシンドローム診断基準検討委員会，メタボリックシンドロームの定義と診断基準，日本内科学雑誌，2005；94.
2．厚生労働省，平成20年国民健康・栄養調査結果の概要，2009，http：//www.mhlw.go.jp/houdou/2009/11/dl/h1109-1b.pdf，Access date 2012/05/05.
3．Iso H, Sato S, Kitamura A, et al., Metabolic syndrome and the risk of ischemic heart disease and stroke among Japanese men and women, Stroke, 2007；38：1744-51.
4．厚生労働省運動所要量・運動指針の策定検討会，健康づくりのための運動指針2006 ～生活習慣病予防のために～エクササイズガイド2006，2006.
5．Kodama S, Saito K, Tanaka S, et al., Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: a meta-analysis, JAMA, 2009；301：2024-35.
6．Laaksonen DE, Lakka HM, Salonen JT, Niskanen LK, Rauramaa R, Lakka TA, Low levels of leisure-time physical activity and cardiorespiratory fitness predict development of the metabolic syndrome, Diabetes Care, 2002；25：1612-8.
7．Littman AJ, Kristal AR, White E, Effects of physical activity intensity, frequency, and activity type on 10-y weight change in middle-aged men and women, Int J Obes（Lond）, 2005；29：524-33.
8．Tremblay A, Despres JP, Leblanc C, et al., Effect of intensity of physical activity on body fatness and fat distribution, Am J Clin Nutr, 1990；51：153-7.
9．Johnson JL, Slentz CA, Houmard JA, 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, 2007；100：1759-66.
10. Slentz CA, Aiken LB, Houmard JA, et al., Inactivity, exercise, and visceral fat. STRRIDE: a randomized, controlled study of exercise intensity and amount, J Appl Physiol, 2005；99：1613-8.
11. Slentz CA, Duscha BD, Johnson JL, et al., Effects of the amount of exercise on body weight, body composition, and measures of central obesity: STRRIDE--a randomized controlled study, Arch Intern Med, 2004；164：31-9.
12. 村本あき子，山本直樹，中村正和ら，特定健診・特定保健指導における積極的支援の効果検証と減量目標の妥当性についての検討，肥満研究，2010；16：182-7.
13. Irving BA, Davis CK, Brock DW, et al., Effect of exercise training intensity on abdominal visceral fat and body composition, Med Sci Sports Exerc, 2008；40：1863-72.

14. DiPietro L, Dziura J, Yeckel CW, Neufer PD, Exercise and improved insulin sensitivity in older women: evidence of the enduring benefits of higher intensity training, J Appl Physiol, 2006；100：142-9.
15. Cox KL, Burke V, Morton AR, Beilin LJ, Puddey IB, Independent and additive effects of energy restriction and exercise on glucose and insulin concentrations in sedentary overweight men, Am J Clin Nutr, 2004；80：308-16.
16. Jakicic JM, Marcus BH, Gallagher KI, Napolitano M, Lang W, Effect of exercise duration and intensity on weight loss in overweight, sedentary women: a randomized trial, JAMA, 2003；290：1323-30.
17. Sasai H, Katayama Y, Nakata Y, et al., The effects of vigorous physical activity on intra-abdominal fat levels: a preliminary study of middle-aged Japanese men, Diabetes Res Clin Pract, 2010；88：34-41.
18. Tjonna AE, Lee SJ, Rognmo O, et al., Aerobic interval training versus continuous moderate exercise as a treatment for the metabolic syndrome: a pilot study, Circulation, 2008；118：346-54.
19. Nybo L, Sundstrup E, Jakobsen MD, et al., High-intensity training versus traditional exercise interventions for promoting health, Med Sci Sports Exerc, 2010；42：1951-8.
20. Sallis JF, Haskell WL, Fortmann SP, Vranizan KM, Taylor CB, Solomon DS, Predictors of adoption and maintenance of physical activity in a community sample, Prev Med, 1986；15：331-41.
21. Rhodes RE, Warburton DE, Murray H, Characteristics of physical activity guidelines and their effect on adherence: a review of randomized trials, Sports Med, 2009；39：355-75.
22. Visek AJ, Olson EA, DiPietro L, Factors predicting adherence to 9 months of supervised exercise in healthy older women, J Phys Act Health, 2011；8：104-10.
23. American College of Sports Medicine, 運動処方の指針運動負荷試験と運動プログラム原書第８版　監訳日本体力医学会体力科学編集委員会, 2011.
24. 内閣府大臣官房政府広報室, 体力・スポーツに関する世論調査, 2009, http://www8.cao.go.jp/survey/h21/h21-tairyoku/2-2.html, Access date 2012/05/05,
25. Burgomaster KA, Howarth KR, Phillips SM, et al., Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans, J Physiol, 2008；586：151-60.
26. Hazell TJ, Macpherson RE, Gravelle BM, Lemon PW, 10 or 30-s sprint interval training bouts enhance both aerobic and anaerobic performance, Eur J Appl Physiol, 2010；110：153-60.
27. Little JP, Safdar A, Wilkin GP, Tarnopolsky MA, Gibala MJ, A practical model of low-volume high-intensity interval training induces mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle: potential mechanisms, J Physiol, 2010；588：1011-22.