

Original article

## Effective training of squat exercise -- HiSquat trial for patients with diabetes --

Hiroshi Bando<sup>1,2)</sup>, Masao Kan<sup>3)</sup>, Yuko Takenaka<sup>2,4)</sup>, Hiroki Yokoyama<sup>5)</sup>,  
Takumi Nakamura<sup>2,6)</sup>, Kiyoshi Konoike<sup>2)</sup>

1) The University of Tokushima / Kitajima Taoka Hospital, Tokushima, Japan

2) Japan Masters' Association, Japan

3) Japan Ship Machine Tool Co. Ltd., Japan

4) Graduate School of Human Development and Environment, Kobe University, Kobe, Hyogo, Japan

5) Jiyugaoka Yokoyama Clinic, Obihiro, Hokkaido, Japan

6) Nakamura Orthopedic Clinic and Anti-aging Center, Kawanishi, Hyogo, Japan

Glycative Stress Research 2016; 3 (2): 65-73

(c) Society for Glycative Stress Research

(原著)

## スクワットの効果的トレーニング～糖尿病に対するハイスクワットの試行～

板東浩<sup>1,2)</sup>、菅 正夫<sup>3)</sup>、竹中優子<sup>2,4)</sup>、横山宏樹<sup>5)</sup>、中村 巧<sup>2,6)</sup>、鴻池清司<sup>2)</sup>

1) きたじま田岡病院 / 徳島大学

2) 公益社団) 日本マスターズ陸上競技連合

3) 日本船舶工具有限会社

4) 神戸大学大学院人間発達環境学研究科

5) 自由が丘横山内科クリニック

6) 中村整形外科クリニック / アンチエイジングセンター

### 抄録

**【背景】** 近年、プライマリ・ケアの領域では、糖尿病を含むメタボリック症候群やロコモティブ症候群、フレイルなどが問題である。そこで、これらの患者に対する運動療法について、有酸素運動に加えて適切なレジスタンス運動の必要性が最近叫ばれ、プライマリ・ケアのレベルで、可能で簡潔で有効なレジスタンス運動が求められていた。

**【方法】** 対象者は糖尿病患者 61 例（男性 36、女性 25、66.9 ± 13.5 歳、平均 ± 標準偏差）である。方法は、ハイスquat（スクワット用運動用具 3179684 号）を使ってスクワット運動を、各患者が自宅で朝夕に各 5 分行い 6 カ月継続した。動作は歩行・ジョギング、大腿部内側・外側・中央を鍛えるもので、測定項目は、身長や体重、BMI、腹囲、大腿周囲径、HbA1c 値などであり、治療は原則的に変えず HbA1c の変化を比較した。

**【結果】** 研究開始前で61例の基礎データは、身長  $159.4 \pm 8.4$  cm、体重  $62.5 \pm 13.8$  kg、BMI 値  $24.5 \pm 4.7$  kg/m<sup>2</sup>、腹囲  $86.8 \pm 10.7$  cm、大腿周囲径  $42.9 \pm 6.4$  cm、HbA1c  $6.8 \pm 0.9$  %であった。6カ月後のHbA1c値は  $6.4 \pm 1.0$  %で、統計学的に0.4%の有意の低下が認められた。相関分析では、BMIと大腿周囲径/身長比に有意の正の相関が、年齢と大腿周囲径/腹囲比が有意の負の相関がみられた。

**【結論】** 本研究でHbA1cの有意の低下がみられ、糖尿病に対する運動療法において、ハイスquat (HiSquat)の有効性が示唆された。本研究は、運動療法における腹囲・大腿周囲径の基礎データや今後活用が予想される本器機の有効性のデータとなる。その結果、日本のプライマリ・ケア領域で増加するメタボリック症候群やロコモティブ症候群、フレイルに対する効果も期待される。

**KEY WORDS:** ハイスquat、スクワット、糖尿病、HbA1c、運動療法

## はじめに

近年、プライマリ・ケアの領域では、糖尿病を含むメタボリック症候群や中高年者におけるロコモティブ症候群、フレイル、アンチエイジング的対応などが問題となってきた。これらのメタボリック症候群やロコモティブ症候群の患者に対して、有酸素運動に加えてレジスタンス運動(筋トレ、軽い無酸素運動)が必要とされている。その中で、運動不足の人々が高頻度となっている現在、プライマリ・ケアのレベルで、誰もが続けられる簡素なレジスタンス運動が求められていた。

運動不足と疾病との関係が議論されてきている。身体活動に関するガイドラインも各国で発表されてきている<sup>1-5)</sup>。多数の文献による系統的レビューとメタ解析が行われ、座位時間が慢性疾患や死亡率と関わり、運動や活動による改善が報告されてきた<sup>6,7)</sup>。系統的レビューとメタ解析によると<sup>8)</sup>、デスクワークや趣味、テレビの視聴などで座位時間が長い人では、運動強度にかかわらず全死亡やがん、心血管疾患(CVD)、2型糖尿病リスクが高い。特に、2型糖尿病リスクのハザード比は1.91と極度に高く、運動不足のメタボリック症候群や動脈硬化疾患への影響が報告された。

他方、運動不足に対してエクササイズの実用性が叫ばれてきている。有酸素運動とレジスタンス運動の両者があるが、週に2回以上大きな筋肉のレジスタンス運動が、WHOや他国でのガイドラインで必要とされる<sup>1,2)</sup>。レジスタンス運動(筋力/ウェイトトレーニング)では、筋肥大や筋力向上、筋パワー向上、筋持久力向上などの効果がある<sup>9)</sup>。さらに、加齢に伴う筋量の減少、骨密度の減少、筋機能や筋代謝能力の低下、体脂肪の増加などに対しても有益<sup>10)</sup>、日常生活での身体活動パフォーマンス向上<sup>9)</sup>にも効果が期待される。高齢者のレジスタンスのメタ解析では<sup>11)</sup>、高齢者の筋力の改善は20~30%が見込まれるとした。

近年はメタボやロコモ、フレイルへの対応が叫ばれており、日本整形外科学会などでも、普及活動が行われてきた<sup>12,13)</sup>。中でも、日本老年医学会によるロコモティブシンド

ローム(運動器症候群)のガイドラインにも、特に機器を使わず簡単で、QOLやADLに有効性が期待されるため、スクワットが推奨されている<sup>14,15)</sup>。

以上の2つの領域で、我々は抗加齢医学や糖尿病、食事・運動療法に関する多くの研究を行ってきた<sup>16-18)</sup>。今回の研究は、運動療法に対するスクワットの効果の検証である。新しい器機であるバネ運動器「ハイスquat<sup>19,20)</sup>」を用いて、臨床的に糖尿病患者に対する運動療法の効果を6カ月解析したので、報告する。

## 対象と方法

対象者は徳島県内の医療機関に通院中の糖尿病患者61例(男性36、女性25、 $66.9 \pm 13.5$ 歳、平均±標準偏差)とした。糖尿病治療の内訳は食事運動療法のみ7例、経口糖尿病薬使用者46例、インスリン使用者8例であった。経口糖尿病薬の使用内訳は、インスリン分泌促進剤9例、ブドウ糖吸収阻害剤17例、インスリン抵抗性改善薬28例、インクレチン関連薬39例、SGLT2阻害剤2例であった。運動療法に制限がある網膜症や腎症を有する患者を除き、半年間にわたるプロジェクトを継続した。

方法について、被験者は自宅で朝夕に各5分ずつ、スクワット運動を6カ月行った。スクワットは運動器機「ハイスquat」(スクワット用運動用具3179684号)を用いて、各患者が自宅で朝夕に各5分行い6カ月継続させた(図1)<sup>19,20)</sup>。スクワットの深さはクォーターからハーフであり、臀部を1回毎に右後ろ、左後ろへと交互におろす方法で行った。その内容を示す。1)歩行あるいはジョギングで2分間、腰は特に低くせず、近くに椅子を置いて手で支えながら施行、2)内股の姿勢で腰を下げて左右往復10回(おおむね1分)スクワットを施行、3)外股の姿勢で2)と同様に施行、4)膝をストレートの位置に保ち、2)と同様に施行、合計で5分ほどである。スクワット運動の詳細は、解説本およびホームページ上で示されている<sup>19,20)</sup>。

臨床的対応について、患者は糖尿病の外來患者で、本研究を開始する以前の治療(食事、薬物)や他の条件なども原則的に変えずに、本研究を行った。

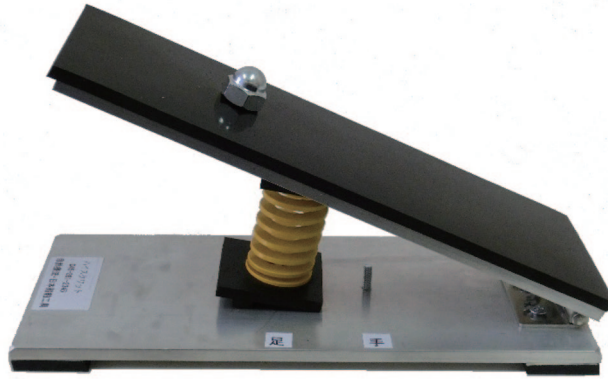


Fig. 1. HiSquat (the exercise equipment for squat movement)

測定項目は、身長や体重、BMI（体重指数、肥満指数）、腹囲（臍を通り水平に測定）、大腿周囲径（膝蓋骨上縁から上方 10 cm において水平に測定する周囲径）、HbA1c 値などであった。主に HbA1c 値の変化を解析し、実施前のデータは、0 カ月の HbA1c の平均値を、実施後のデータは 6 カ月と 7 カ月の HbA1c の平均値を用いた。以上から、大腿周囲径 / 身長比、大腿周囲径 / 腹囲比などを含めたデータについて相関関係も解析した。

倫理的側面として、本研究は、ヘルシンキ宣言および本邦の個人情報保護条例、厚生省による GCP に準拠して行った。本研究に対しては倫理委員会を設置せず、本アンケートに回答した各個人からインフォームドコンセントを得た。

## 結果

1) 対象者の基礎データ：本研究開始前の基礎データとして、を表 1 に、BMI の分布を図 2 に示した。BMI (体重指数) は  $24.5 \pm 4.7 \text{ kg/m}^2$ 、HbA1c (前値) は  $6.8 \pm 0.9 \%$  (平均  $\pm$  標準偏差) であった (表 1)。61 例の BMI の分布を図 2 に示し、25 以上は 61 例中 23 例 (37.8%) であった。

2) HbA1c の変化：6 カ月後の HbA1c 値は  $6.4 \pm 1.0 \%$  (平均  $\pm$  標準偏差) で、平均 0.4% 統計学的に有意な低下 ( $p < 0.05$ ) が認められた (図 3)。61 例における HbA1c 値の変化 (低下) の程度を図 4 に示し、61 例中 32 例 (52.4%) で 0.3% 以上下降した。

3) 各因子の相関関係：意義深い相関関係の結果を図 5 に示した。有意の正の相関が、腹囲 vs 大腿周囲径 (a)、BMI vs 大腿 / 身長比 (b)、BMI vs 腹囲 / 身長比 (c) にみられ、有意の負の相関が年齢と大腿 / 腹囲比 (e) に認められた。一方、BMI と大腿 / 腹囲比 (d)、HbA1c 変化量と HbA1c の数値 (前値、変化量、後値) と他の因子との間 (f) には、有意の相関は認められなかった。

## 考察

### ・身体活動量と糖尿病

身体活動量と糖尿病をはじめ様々な生活習慣病の発症に関わることが疫学調査で明らかにされている。運動不足と疾病について、系統的レビューとメタ解析が行われ、Thorp が 48 件<sup>6)</sup>、Wilmot が 18 件<sup>7)</sup>、Biswas が 47 件<sup>8)</sup> で検討した。Biswas が示したのは、リスクの上昇により、ハザード比は心臓血管死亡率 1.179、心臓血管有病率 1.143、癌死亡率 1.173、癌発生率 1.130、2 型糖尿病発生率 1.910 であった<sup>8)</sup>。

また、日常的にテレビ視聴が 5 時間以上の人は 1 時間未満と比べて 2 型糖尿病発症のリスク (ハザード比) は 1.86 (95% CI: 1.54--2.24) と増加するという<sup>21)</sup>。さらに、座位時間を短縮させる介入によって、食後血糖とインスリン反応の改善が報告されている<sup>22)</sup>。これらの論文から、Lynch<sup>23)</sup> はエディトリアルの中で、今後はサブグループの研究が必要であろうと述べている。

身体活動に関するガイドラインに関して<sup>1,3-5)</sup>、WHO の身体活動の健康推奨基準には、年齢別に推奨レベルが記載されている<sup>1)</sup>。18-64 歳および 65 歳以上のいずれもで、中から強の有酸素運動の必要性に加えて、「週 2 日またはそれ以上、大筋群を使う筋力トレーニングをすること」との記載がある。

また、座位など不動の生活によるの不利が示されており、オーストラリア政府のガイドライン資料の表紙に、大きく“Make your Move – Sit less – Be active for life!”と記載があり、注目したい<sup>3)</sup>。そして、多少の運動を行っても長時間の sitting の影響が大きいという<sup>24)</sup>。

日本の大規模調査として、JPHC study は 45-74 歳の日本人 83,034 名によるコホート研究で、日常身体活動と死亡率との関係が検討された。対象者を 4 分割した群で、最も低い群と比較して、身体活動が上がると死亡率は低下し、その程度は、男性で 0.79、0.82、0.73、女性で男女 0.75、0.64、0.61 であった<sup>25)</sup>。JPHC の一連の癌リスクとの研究

で、週に1回以上のスポーツや運動を行っている人は、同様に、4分群で、最も低い群と比較して0.80、0.81、0.61と低下がみられた<sup>26)</sup>。このように、日本人における調査でも、スポーツや運動による利益が認められる。

### ・研究データの解析

今回研究対象となった糖尿病患者61例の背景因子(表1)をみると、体格やBMI(図2)から算出した肥満割合は23/61(37.7%)で、通常の外來で糖尿病患者の肥満頻度と同等と思われる。

はじめに、本研究でHbA1cの平均0.4%の低下(図3)と、HbA1c低下の分布(図4)との両者から、どのような患者にHbA1c低下がみられやすいのかを分析した。

その結果、BMIとの関連性は低く、プロジェクト開始時のHbA1c値との関連が若干推測された。そこで、HbA1cの前値でA群とB群の2群に分け、HbA1c値の低下の程度を検討。A群：前値 lower 群(6.5%以下、n=30)では

HbA1c 値の低下は平均  $0.11 \pm 0.35\%$ 、中央値  $0.175\%$  であった。一方、B群：前値 higher 群(6.6%以上、n=31)では、HbA1c 値の低下は平均  $0.69 \pm 1.08\%$ 、中央値  $0.65\%$  であった。61例全体でHbA1c 値の低下は  $0.41 \pm 0.86\%$ 、中央値  $0.30\%$  であった。

以上から、ハイスクワットによる効果は、コントロールの良好群では少なく、コントロールの不良群ではHbA1cの低下が大きいと推測できよう。つまり、プライマリ・ケアの臨床現場で、糖尿病のコントロールが難しいケースで、ハイスクワットによる運動療法を試みる意義があると思われる。

相関分析から次のように推測する(図5)。1) 腹囲、大腿周囲径、BMIには相互の正の相関があり、今後、大腿周囲径や、腹囲/身長比、大腿周囲径/身長比などが、臨床的・統計学的に、有用な因子となると示唆される(図5. a, b, c)。2) 図5. c と d の比較から、大腿周囲径/身長比はより誤差が少なく、大腿/腹囲比より統計的に有用な因子と考えられる。3) 図5. d, e の比較から、大腿周囲径/腹囲比が年齢

Table 1. fundamental data

	mean $\pm$ SD
height	159.4 $\pm$ 8.4 cm
body weight	62.5 $\pm$ 13.8 kg
body mass index (BMI)	24.5 $\pm$ 4.7 kg/m <sup>2</sup>
abdominal circumference	86.8 $\pm$ 10.7 cm
thigh circumference	42.9 $\pm$ 6.4 cm
HbA1c (before)	6.8 $\pm$ 0.9 %
HbA1c (6 months)	6.4 $\pm$ 1.0 %

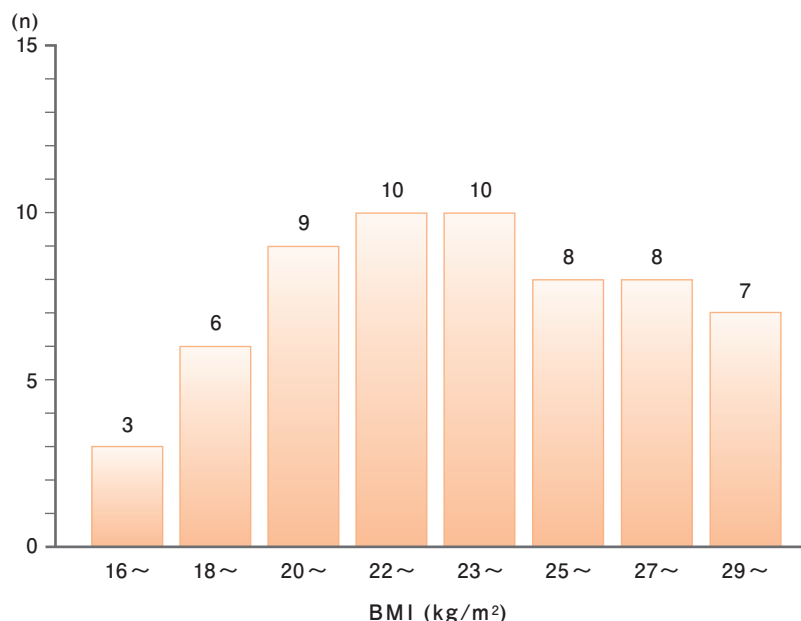
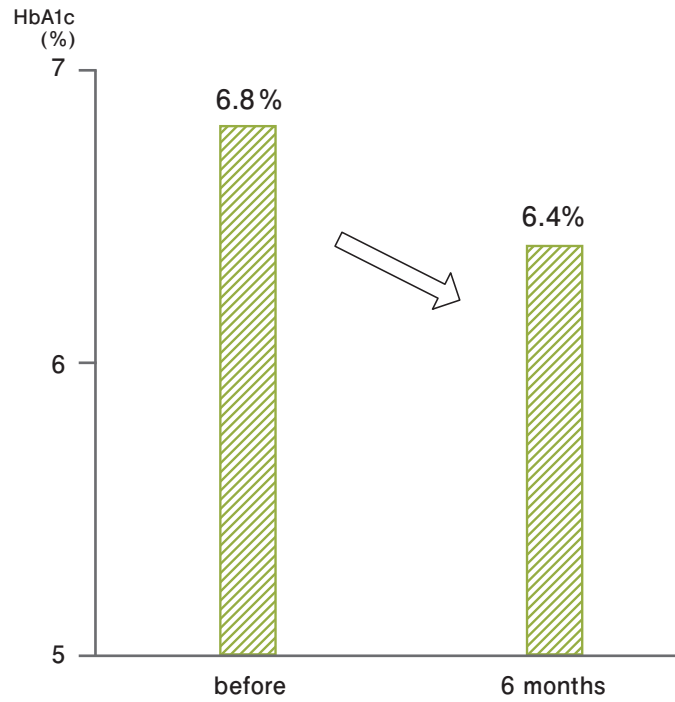
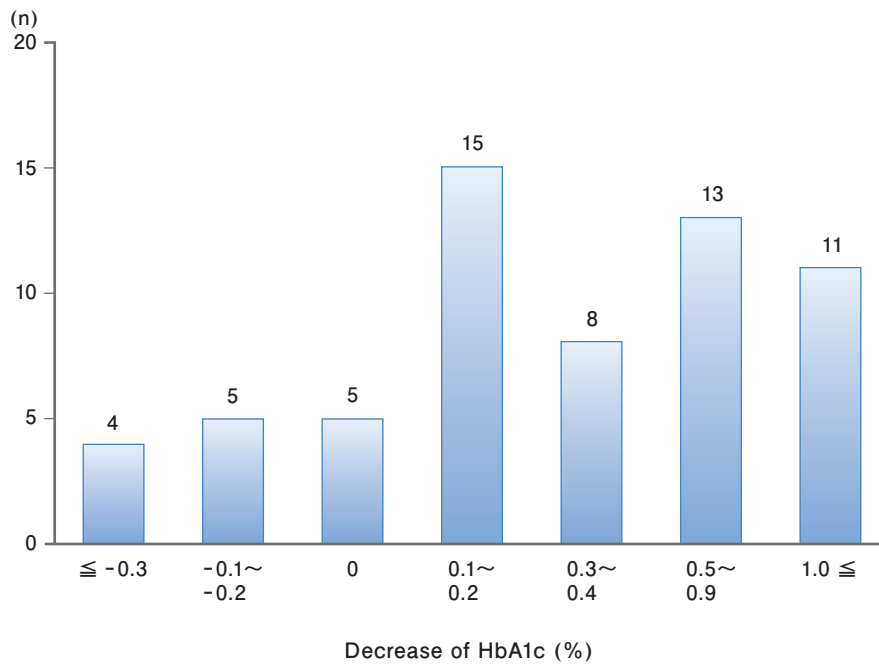


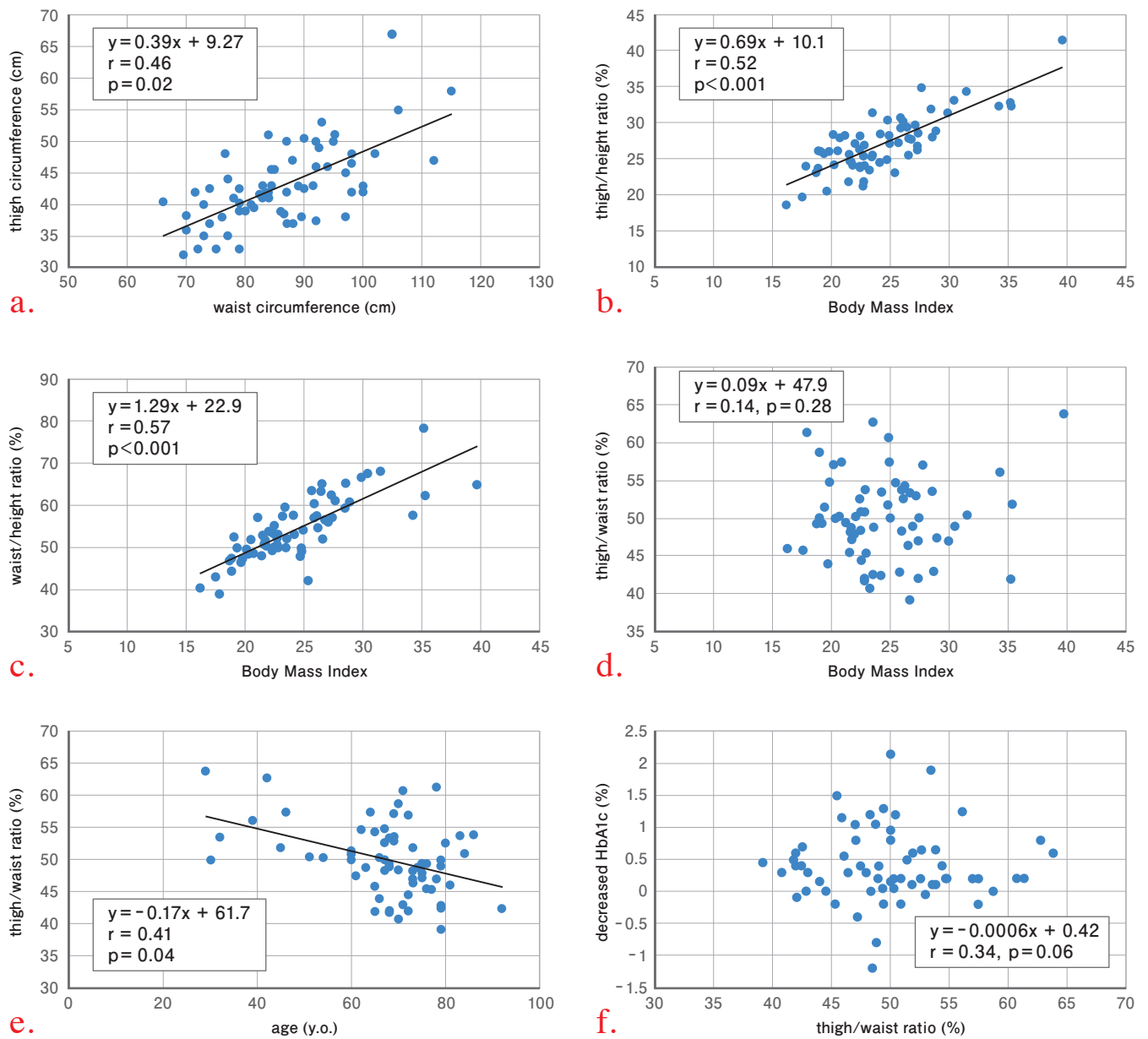
Fig. 2. Body Mass Index (BMI) distribution of 61 subjects.



**Fig. 3.** The changes of HbA1c value in 61 patients with diabetes mellitus  
There was a significant difference between the two ( $P < 0.05$ , paired-t test).



**Fig. 4.** The distribution of the decrease of HbA1c value in the patients with diabetes mellitus



**Fig. 5.** Correlation among body mass index (BMI), waist circumference, thigh circumference, thigh/waist circumference ratio, thigh/height ratio and age.

- Correlation between thigh and waist circumference (significant correlation,  $p < 0.05$ )
- Correlation between BMI and thigh/height ratio (significant correlation,  $p < 0.001$ )
- Correlation between BMI and waist/height ratio (significant correlation,  $p < 0.001$ )
- Correlation between BMI and thigh/waist ratio (no significant correlation)
- Correlation between age and thigh/waist ratio (significant correlation,  $p < 0.05$ )
- Correlation between thigh/waist ratio and decreased HbA1c (no significant correlation)

との負の相関の存在により、加齢による筋肉量の低下を示唆する可能性が考えられる。4) 図 5. f を含め HbA1c の数値 (前値、変化量、後値) と他のすべての因子との間に相関はみられなかった。その一因として、糖質制限などの食事療法で明らかな体重減少がみられる場合とは異なり、半年程度の運動療法で著明な腹囲減少などがみられにくいためと考えられる。

BMI (体重指数) と大腿周囲径について、下記の点に留意して評価を行った。1) BMI は身長と体重から計算され筋肉や脂肪の比率が考慮されていないため、BMI の評価にはある程度限界がある、2) スクワット運動を開始した後の大腿周囲径の評価には様々な変動因子が含まれ、たとえば早期には皮下脂肪の減少により細くなり、後期には筋肉量の増加により太くなったりする、3) 我々の今回の研究から、BMI や大腿周囲径に対する多少の影響はみられるが、ウエスト / 大腿周囲径の測定は、運動効果の評価には有用であると思われる。

## ・スクワットの有効性

プライマリ・ケアおよび予防医学の視点から、脳外科医の Osborn 氏は著書の中で<sup>27)</sup>、「加齢病を予防するための 5 つの運動として」として、1) スクワット (Squat)、2) ショルダープレス (overhead press)、3) デッドリフト (deadlift)、4) ベンチプレス (bench press)、5) 懸垂運動 (pull-up / chin-up) を挙げた。この中で、1) squat がトレーニングの基盤であり、全身のトレーニングであると述べている。氏は 20-80 歳男性 8762 名の大規模調査を引用しており<sup>28)</sup>、18.9 年観察した結果、生存しているのは最も筋力を保持している人々であった。

フィットネスの指導者 Hagan 氏は「強く長く機能的なトレーニングのコツ」を示し、その中で、今後の運動バリエーションを含む 6 個の基本動作があるとした<sup>29)</sup>。それらは 1) スクワット (squat)、2) ランジ (lunge)、3) デッドリフト関連 (pull/dead lift/row)、4) コアトレーニング関連 (push/plank/hover)、5) 捻れ運動 (twist: torso rotation)、6) 歩行 (gait: walk/run) であり、スクワットの重要性を示している。高齢者のスクワットで、通常法 (normal squat; SQ) に加え、椅子を用いたスクワット (chair squat; CSQ、椅子の高さ 43.8cm) が試行された<sup>30)</sup>。CSQ では股関節の屈曲がより大きく、SQ では膝や足首の屈曲が大きく、今後いずれの方法も対象者に応じた臨床応用が可能となるだろう。

レジスタンス運動の強度と回数について、筋肥大には 70 ~ 85 % 1RM の強度で 8 ~ 12 回の反復で 3 セット、週 2 ~ 3 回、少なくとも 8 ~ 12 週間のレジスタンス運動を、筋力向上には 80 % 1RM 以上の強度で 8 回までの反復で 3 ~ 5 セット、週 3 回、数週間のレジスタンス運動が推奨されている<sup>31)</sup>。以上のように、対象者が中高年でアンチエイジングや運動療法の目的なら、スクワットに加え種々のストレッチや軽い筋トレをも合わせ足腰を鍛えるとよいだ

ろう<sup>32)</sup>。

今回、研究に用いたハイスクワットは、対象者によって使い方が異なる (図 1)。まず、アスリートが体力アップで使う場合、腰を下げる程度が深く、深い順にフルボトム、フル、パラレルでの姿勢で行う。臀部が深く後ろに位置し、重心を保持するために、手は前方でしっかりと壁か手すりなど固定物をしっかり掴む。

一方、中高年者が健康増進で使う場合、腰の位置は高く、ハーフからクォーターである。通常、椅子の背やテーブルの端を手でつかみ、軽い支えを保持しながら行う。実は、椅子を補助的に使うのは、日常的な運動療法の継続にプラスとなる。というのは、ウォームアップ、ストレッチ、筋肉トレーニングなども、一連の動作として行えるからである<sup>32)</sup>。つまり、ストレッチとして頸部、肩、上背部、大腿四頭筋、ハムストリングス、ふくらはぎの各部位を行え、筋肉トレーニングとして、5 分間歩行、スクワット、つま先立ち、膝の屈曲、膝の伸展、なども行える。以上から、椅子とハイスクワットを用いて、ストレッチと筋肉トレーニングを含む各自のプログラムを簡単に作成し毎日継続できる。

なお、新しい時代における試みとして、カイネクト (Kinect) を利用したエア・スクワット訓練支援システムの開発が報告されている<sup>33)</sup>。方法は、太ももと床が平行になるまで腰を落とし、1 秒程度その状態を保つというハーフスクワットで、この方法でも足腰に対する効果が期待される。

座位、歩行、ステップにより糖尿病がよくなるとの報告は他にもみられる。36 ~ 80 歳の 698 例に対する研究がある<sup>34)</sup>。その中で、1) 1 日 2 時間座位から立位へ習慣を変えると、有意に空腹時血糖 2 % 低下、中性脂肪 11 % 低下がみられ、2) 座位から歩行では効果が高く、3) 立位から歩行でも、食後 2 時間血糖が有意に 11 % 低下したという。

このように、歩行 (ステッピング) の習慣は、血糖プロフィールにプラスの効果がみられ、ハイスクワットは短時間ながら、大きな筋肉への刺激であるため、臨床的にも有用性があると思われる。

本研究を通じて、我々は研究の限界を継ぎのように考えている。つまり 1) 研究デザインとして、コントロール群がなく、比較は運動期間の前後での評価に限られている、2) この介入方法以外に被験者に規則的で健康的な生活を送らせる他の交絡因子の存在の可能性がある、3) 介入が中止されると、被験者の生活習慣は元の状態に戻る可能性がある、4) 本研究デザインでは、HbA1c 値を下降させる因子はスクワットだけとは判断できない、などが挙げられる。

## ・糖尿病予防の重要性

米国スポーツ医学学会 (ACSM) による「運動処方」の指針原書第 9 版<sup>35,36)</sup>では、ハイリスクを有する対象者に対する運動前のチェック表がある。5 つの大分類として、1) 心臓病と診断された、2) 心臓病の可能性あり、3) 糖尿病と

他 10 項目中少なくとも 1 項目の合併、4) 重症の慢性腎臓病、5) 慢性閉塞性肺疾患とあり、3) の中に、年齢、糖尿病、高血圧、脂質異常症、喫煙などが含まれ、糖尿病の重要性が伝わってくる。

一方、抗加齢医学の中で、糖尿病の予防は非常に重要である。慶應義塾大学百寿者研究で東京都在住の百寿者 302 人の病歴調査の結果、最も多かった疾患は高血圧で、白内障や骨折、心疾患がそれに続いた<sup>37)</sup>。百寿者がまったく病気をしないわけではないが、極端な肥満も痩せも少ない。病歴でもっとも少ないのは糖尿病であった。70、80 代の糖尿病罹患率が 20 % 程度であることを考えると、百寿者の 6 % という値は極めて低い。アンチエイジング医学の目標である健康長寿の達成のためには糖尿病を予防すること、糖尿病の管理を厳格に行うことが重要である。

抗加齢医学において、糖化による退行性変化を予防するために、高齢者における運動療法は、身近で安価で短時間ででき、何よりも効果を感じられるものがよい。その点で、ハイスクワットは非常に効率的な運動療法となる。心身の加齢によって、外出や複雑な機器の使用が困難あるいは億劫になりがちの高齢者は多い。また、他人とパフォーマンスを比較する以前に、動作を完遂できないため意欲を失う場合もみられる。

一方、特定の機会に出かける準備や、実際に出かけて得られるリフレッシュ感や新たな友達などが心身の活力源となり、よい効果をもたらす。プライマリ・ケアでは、これらの両面の長所、短所を考慮して、その人に応じた方法で行うことが必要となるだろう。

## 結論

本研究では、運動療法の器械・ハイスクワットを用いて、糖尿病患者における運動療法の効果を 6 カ月検討した。61 例の被験者で平均 HbA1c 値が 0.4 % の改善がみられ、考察を加えた。本研究は、糖尿病に対する運動療法の基礎データとなり、今後プライマリ・ケア領域で対象者に応じた適切な運動療法の発展に参考になるものと思われる。

## 謝辞および COI

本報告の要旨は、第 58 回日本糖尿病学会総会(2015 年 5 月、山口)で報告した。各発表者に関連して、開示すべき COI 関係にある企業等はない。

## References

- 1) World Health Organization (WHO). Global recommendations on physical activity for health. WHO Press, Geneva, Switzerland, 2010.
- 2) Active Guide. Japanese official physical activity guidelines for health promotion. 2013. <http://www0.nih.go.jp/eiken/info/pdf/active2013-e.pdf>
- 3) Physical Activity 2011-12.: Australian Bureau of Statistics (ABS) 2013. Australian Health Survey, 2013
- 4) Department of Health, Australian Government. Australia's physical activity & sedentary behaviour guidelines for adults (18-64 Years). 2014 [www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/content/health-pubhlth-strateg-phys-act-guidelines#apaadult](http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/content/health-pubhlth-strateg-phys-act-guidelines#apaadult)
- 5) Canadian Society for Exercise Physiology. Canadian physical activity guidelines and Canadian sedentary behaviour guidelines. 2013. ([www.csep.ca/guidelines](http://www.csep.ca/guidelines))
- 6) Thorp AA, Owen N, Neuhaus M, et al. Sedentary behaviors and subsequent health outcomes in adults: a systematic review of longitudinal studies, 1996-2011. *Am J Prev Med.* 2011; 41:207-215.
- 7) Wilmot EG, Edwardson CL, Achana FA, et al. Sedentary time in adults and the association with diabetes, cardiovascular disease and death: systematic review and meta-analysis. *Diabetologia.* 2012; 55: 2895-2905.
- 8) Biswas A, Oh PI, Faulkner GE, et al. Sedentary time and its association with risk for disease incidence, mortality, and hospitalization in adults: a systematic review and meta-analysis. *Ann Intern Med.* 2015; 162: 123-132.
- 9) Fleck SJ, Kraemer WJ. Designing resistance training program (3rd ed). p.13-52, Human Kinetics, Chicago, Illinois, 2004
- 10) Faigendaum A. Age-and sex related differences and their implications for resistance exercise, Baechle and Earle de: Essentials of strength training and conditioning 3rd ed. p.141-158, Human Kinetics, Chicago, Illinois, 2008
- 11) Peterson MD, Rhea MR, Sen A, et al. Resistance exercise for muscular strength in older adults: A meta-analysis. *Ageing Res Rev.* 2010; 9: 226-237.
- 12) Fried LP, Tangen CM, Walston J, et al. Cardiovascular health study collaborative research group: frailty in older adults: evidence for a phenotype. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2001; 56: M 146-156.
- 13) Locomotive Syndrome. The Japanese Orthopaedic Association. *Jpn. Orthop. Assoc.* 2007; 81: 585-589.
- 14) Nakamura K. Locomotive syndrome. *Japanese Journal of Geriatrics.* 2012; 49: 393-401.
- 15) Locomotive syndrome-pamphlet 2015. The Japanese Orthopaedic Association. [https://www.joa.or.jp/jp/public/locomo/locomo\\_pamphlet\\_2015.pdf](https://www.joa.or.jp/jp/public/locomo/locomo_pamphlet_2015.pdf)
- 16) Bando H, Yonei Y, Nakamura T. Investigation of quality of life in athletes from an anti-aging perspective. *Primary Care.* 2006; 4: 47-51.
- 17) Bando H, Yoshioka T, Yonei Y, et al. Investigation of QOL in middle-aged athletes. *Applied Gerontology.* 2008; 2: 66-70.



- 18) Bando H, Nakamura T, Yonei Y, et al. Lipid profile of masters athletes in ice-skating, a model of anti-aging research. *Glycative Stress Research*. 2015; 2: 52-57.
- 19) Kan M. HiSquat, new type of exercise equipment for squat movement. Pat. pending registration No. 3179684, (Oct.24, 2012). Product registration number 5611700. <http://www.hi-squat-kan.com/>
- 20) Kan M. Bando H(ed.). Build up your physique with HiSquat, leading to sound life until 100 years old. Medical Informatics Service, 2014,
- 21) Krishnan S, Rosenberg L, Palmer JR. Physical activity and television watching in relation to risk of type 2 diabetes: The black women's health study. *Am J Epidemiol*. 2009; 169: 428-434.
- 22) Dunstan DW, Kingwell BA, Larsen R. Breaking up prolonged sitting reduces postprandial glucose and insulin responses. *Diabetes Care*. 2012; 35: 976-983.
- 23) Lynch BM, Owen N. Too much sitting and chronic disease risk: steps to move the science forward. *Ann Intern Med*. 2015; 162: 146-147.
- 24) Mayor S. Prolonged sitting increases risk of serious illness and death regardless of exercise, study finds. *BMJ*. 2015 Jan 19; 350:h306. doi: 10.1136/bmj.h306.
- 25) Inoue M, Iso H, Yamamoto S, et al. Daily total physical activity level and premature death in men and women: Results from a large-scale population-based cohort study in Japan (JPHC study). *Ann Epidemiol*. 2008; 18: 522-530.
- 26) Inoue M, Yamamoto S, Kurahashi N, et al. Daily total physical activity level and total cancer risk in men and women: results from a large-scale population-based cohort study in Japan. *Am J Epidemiol*. 2008; 168: 391-403.
- 27) Osborn B. Get serious, a neurosurgeon's guide to optimal health and fitness – for men and women of all ages. Book Publishers Network, 2014.
- 28) Ruiz JR, Sui X, Lobelo F, et al. Association between muscular strength and mortality in men: Prospective cohort study. *BMJ* 2008;337:a439 doi:10.1136/bmj.a439
- 29) Hagan M. Goodlife fitness: 6 weeks to a new body. Penguin Canada Publishing, 2008.
- 30) Flanagan S, Salem GJ, Wang MY, et al. Squatting exercises in older adults: kinematic and kinetic comparisons. *Med Sci Sports Exerc*. 2003; 35: 635-643.
- 31) Mayer F, Scharhag-Rosenberger F, Carlssohn A, Cassel M, Müller S, Scharhag J : The intensity and effects of strength training in the elderly. *Dtsch Arztebl Int*. 2011; 108: 359-364.
- 32) Seguin RA, Epping JN, Buchner DM et al. Growing Stronger-strength training for older adults. U.S. department of health and human services, Centers for disease control and prevention, Tufts University, 2002, p34-74.
- 33) Ochi Y. Development of an air-squat training support system using microsoft kinect. *The Journal of Information and Systems in Education*. 2013; 30: 98-103.
- 34) Healy GN, Winkler EA, Owen N, et al. Replacing sitting time with standing or stepping: Associations with cardio-metabolic risk biomarkers. *Eur Heart J*. 2015; 36: 2643-2649.
- 35) Thompson PD, Arena R, Riebe D, et al. ACSM's new preparticipation health screening recommendations from ACSM's guidelines for exercise testing and prescription, ninth edition. *Curr Sports Med Rep*. 2013; 12: 215-217.
- 36) Pescatello LS, Riebe D, Arena R, American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 9th ed. Baltimore (MD): Lippincott Williams & Wilkins; 2014.
- 37) Takayama M, Hirose N, Arai Y, et al. Morbidity of Tokyo-area centenarians and its relationship to functional status. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2007; 62: 774-782.