

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：34605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K10841

研究課題名(和文) ストレッチングの習慣的实施がもたらす糖尿病と動脈硬化症の予防・改善効果の解明

研究課題名(英文) The effect of habitual stretching on prevention and improvement of diabetes and arteriosclerosis

研究代表者

永澤 健 (Nagasawa, Takeshi)

畿央大学・健康科学部・教授

研究者番号：80390566

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：食後の血糖値上昇抑制に効果的なストレッチングの処方条件を探り、食後の血糖コントロールのために、習慣的に実施可能なストレッチングプログラムを開発することを目的とした。本研究の結果、短時間の座位姿勢の静的および動的ストレッチングによって、食後の血糖コントロールの作用が期待でき、痛みが生じ始める強度まで筋を伸長させることで、食後の血糖値低下作用が得られることが示唆された。さらに、下肢の筋群のみを対象にした静的ストレッチングには、食後の血糖値を低下させる作用があることも示された。一方、本研究で実施した短時間のストレッチングには、動脈伸展性に対する急性の改善効果が確認できなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

下肢を中心とした大筋群を対象にして、痛みが生じる強度まで筋を伸長させるストレッチングを食後に短時間(10分程度)実施すると、食後の血糖値上昇が抑制されることが示された。ストレッチングは関節への負担が少なく、低強度の運動であり、身体に大きな負荷をかけずに実施できる利点がある。運動制限のある高齢者や有酸素性運動の実施が困難な低体力者でもストレッチングは実施できることから、本研究結果が適用できる対象者の範囲は広い。さらに、ストレッチングは食前・食後などでも手軽に実践できることから、習慣的に実施可能な糖尿病運動療法のプログラムとして、ストレッチングの活用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to investigate prescribing conditions for stretching to suppress postprandial blood glucose elevation. Furthermore, we aimed to develop a stretching program aimed at postprandial blood glucose control. The results showed that short periods of static and dynamic stretching in a sitting position were effective in postprandial glycemic control. Postprandial blood glucose levels were shown to decrease by stretching the muscles until pain occurred. In addition, static stretching of lower extremity muscles was also shown to reduce postprandial blood glucose levels. In contrast, this study found no improvement in arterial compliance accuracy when short-term stretching was performed.

研究分野：運動生理学

キーワード：ストレッチング 運動療法 運動処方 糖尿病予防 血糖コントロール 食後血糖値 動脈硬化 動脈伸展性

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ストレッチングは、筋や関節を伸長させる運動のことで、ストレッチ運動や柔軟体操とも呼ばれる。ストレッチングは関節への荷重が少なく、運動強度が低いいため呼吸循環器系に対しても過度の負荷をかけないことから、安全性に優れた運動である。ストレッチングは、関節可動域の向上、加齢に伴う柔軟性低下の予防、肩こりや腰痛の改善、リラクゼーション、筋疲労からの回復の促進など様々な効果があることが知られている。しかしながら、ストレッチングは低強度の運動であり、ストレッチングのエネルギー消費量はウォーキング等の有酸素性運動と比べて小さく、肥満の治療効果は期待できない。

一方、近年、ストレッチングには血糖値上昇抑制作用や血管機能の改善作用があることを示唆する興味深い知見が散見されるようになり、ストレッチングによる生活習慣病の予防と治療の効果が注目されるようになってきた。しかしながら、ストレッチングの実施が糖尿病や動脈硬化症の予防・改善に寄与するかどうかについての科学的根拠は十分でない。

筋に対するストレッチ刺激は、GLUT4 を細胞膜へ移行させ、筋で糖の取り込みを促進すること、筋小胞体からのカルシウムイオンの放出を誘導し、カルモデュリンキナーゼ (CaMK) の活性化が筋での糖取り込みを促進させることが報告されている。そこで我々は、高血糖状態でストレッチングを実施すれば、血糖値が低下すると考え、糖負荷後に一過性の静的ストレッチングを実施すると血糖値が低下すること、食後高血糖の是正の急性効果があることを報告している (永澤 Therapeutic Research 2015)。したがって、食後にストレッチングを習慣的に実施すれば、血糖値上昇の抑制と血糖コントロールの改善が認められ、糖尿病の予防・改善につながる可能性がある。

また、我々は、静的ストレッチングは伸長部位の血流量と酸素飽和度 (StO<sub>2</sub>) を上昇させること (永澤ら, 臨床スポーツ医学 2010)、伸長部位の組織において一時的な血流制限とその後の血流促進がもたらされること (永澤ら, 体育学研究 2011) を報告している。したがって、ストレッチングは伸長部位の組織において一時的な血流制限とその後の血流促進および血管拡張をもたらすことから、習慣的なストレッチングが血管内皮機能を改善させ、動脈硬化症の予防・改善につながる可能性がある。

### 2. 研究の目的

本研究では、食後の血糖値上昇抑制に効果的なストレッチングの方法と処方条件を探り、食後の血糖コントロールのために、習慣的に実施可能なストレッチングプログラムを開発することを目標とした。さらに、ストレッチングが動脈伸展性を改善させる急性の効果があるか否かについて検証した。本研究ではまず、ストレッチングの強度の違いが食後の血糖値と動脈伸展性に及ぼす影響について検討するとともに (研究 1)、食後血糖値と動脈弾性指標 (CAVI) に対する動的ストレッチングの急性効果について検討した (研究 2)。さらに、ストレッチングの運動時間が同じでも、伸長する部位を多くしてストレッチ刺激が加わる筋量を増加させることで血糖低下作用に違いが生じるかどうかについて検証した (研究 3)。

また、下肢の筋群のみを対象にした座位姿勢の静的ストレッチングを食後に実施し、血糖値低下作用がみられるかどうか検討するとともに、このストレッチングプログラムの運動強度とエネルギー消費量を評価した。さらに、食後の短時間の静的ストレッチングを習慣的に実施可能か否かについて調査した (研究 4)。

### 3. 研究の方法

#### (1) 研究 1

食後の血糖値と動脈伸展性に及ぼすストレッチングの強度の影響について検討した。健康成人男性 11 名 (21.1±1.1 歳) を対象とし、血糖値、動脈弾性指標 (CAVI; cardio-ankle vascular index)、指尖脈波を安静時、食後 30 分、60 分および 120 分に測定した。安静保持、低強度および中等度のストレッチングの 3 条件の実験を順序無作為に実施した。ストレッチング条件では食事終了 30 分後から 15 分間のストレッチングを行った。ストレッチングの強度は痛みを自覚する前までの伸長を低強度とし、痛みが生じ始める伸長を中等度とした。ストレッチングの強度決定のためのストレッチングの試行を別の日に実施した。試験食としてカツ丼 (エネルギー 840 kcal、炭水化物 100 g) を摂取させた。

#### (2) 研究 2

動的ストレッチング (ダイナミックストレッチング) が食後血糖値と CAVI に及ぼす一過性の影響について検討した。健康成人男性 10 名 (21.6±0.7 歳) を対象に、血糖値と CAVI を安静時、食後 30 分、60 分および 120 分の時点で測定した。安静保持と動的ストレッチングの 2 条件を 3 日以上の間隔を開けて順序無作為に実施した。動的ストレッチングは食後 30 分の時点から椅座位で行い、上肢と下肢の 12 種目を 3 セット、合計 10 分間実施した。なお、ストレッチング中の平均心拍数は 93bpm であった。安静時と動的ストレッチング後に吐き気と疲労感の VAS (Visual Analog Scale) を測定した。試験食としてカツ丼 (エネルギー 840 kcal、炭水化物 100 g) を摂

取させた。

### (3) 研究 3

上肢のみと全身の 2 種類の静的ストレッチングのプログラムを食後に実施し、食後の血糖低下作用に違いがみられるかどうか検討した。健康成人女性 13 名 (21~22 歳) を対象に、安静条件、上肢ストレッチング条件、全身ストレッチング条件の計 3 条件を実施した。各実験条件において、血糖値、疲労感および吐き気の VAS を安静時、食後 15 分、30 分、45 分、60 分、90 分、120 分の時点で測定した。15 分間の上肢のみあるいは全身の静的ストレッチング (上肢、下肢、体幹) を食事終了直後に実施した。試験食としてからあげ弁当 (エネルギー 652 kcal, 糖質 75 g) を摂取させた。

### (4) 研究 4

下肢の筋群のみを対象にした座位姿勢の静的ストレッチングを食後に実施し、血糖値低下作用がみられるかどうか検討した。健康成人女性 11 名 (21~22 歳) を対象とし、被験者は安静条件とストレッチング条件の 2 つの実験に参加した。各実験条件において、血糖値、血圧、疲労感および吐き気の VAS を安静時、食後 15 分、30 分、45 分、60 分、90 分、120 分の時点で測定した。ストレッチング条件では、試験食 (エネルギー 692 kcal, 糖質 78 g) を摂取した 30 分後に、椅座位での下肢の静的ストレッチングを 5 種目、計 10 分間行った。

また、習慣的に実施可能なストレッチングプログラムを開発するために、健康成人女性 13 名 (21~22 歳) を対象にして、1 日 2 回食後 1 時間以内に座位ストレッチを 10 分間、連続 5 日間行わせ、このストレッチングプログラムの取り組みやすさの調査とストレッチ運動後の腹痛と吐き気 VAS を測定した。ストレッチングは全身の大筋群と中心とするストレッチ運動 8 種目とし、各種痛みを感じるまで伸長させ、反復回数 4 回、1 回の伸長時間は 15 秒とした。全種目 10 分間椅子に座った状態で実施した。

## 4. 研究成果

### (1) 研究 1

安静から食後 120 分目までの各時間の血糖値は条件間に有意な差がなかった。食後 30 分から 60 分の血糖値の低下量は中等度のストレッチング条件のみが安静条件と比較して有意に低値を示した ( $p < 0.01$ )。CAVI および指尖脈波の変化には各条件間に有意な差がなかった。これら結果から、痛みが生じ始める強度でのストレッチングには、食後の血糖値の上昇を抑制する効果があることが示され、ストレッチングの伸長強度の違いが血糖値低下作用に影響を与えることが明らかとなった。本研究において、CAVI および指先脈波から評価した血管機能に対しては一過性のストレッチングによる改善作用を認めなかった。

### (2) 研究 2

食後の血糖値にはストレッチング条件と安静条件の間に有意差を認めなかったが、食後 30 分から 60 分の血糖値の低下量は、動的ストレッチングの条件が安静条件と比べて有意に大きかった ( $p < 0.01$ )。動的ストレッチング後に吐き気と疲労感 VAS の上昇を認めなかった。一方、本研究で実施したこの動的ストレッチングプログラムには動脈弾性指標 CAVI を改善させる急性の作用を認めなかった。以上のことから、本研究の動的ストレッチングには吐き気と疲労感を伴うことなく食後の血糖値を降下させる急性の作用があることが示唆された。

### (3) 研究 3

食後 15 分目の血糖値は、上肢ストレッチング条件と比べて全身ストレッチング条件が有意に低値を示した ( $p < 0.05$ )。食後 30 分目以降の血糖値には条件間で有意な差を認めなかった。安静時から食後 15 分の血糖値の増加量は、安静条件と上肢ストレッチング条件に比べて全身ストレッチング条件が有意に小さかった ( $p < 0.01$ )。血糖値上昇曲線下面積は、全身ストレッチング条件が上肢ストレッチング条件よりも有意に低値を示した ( $p < 0.05$ )。疲労感および吐き気の VAS は全ての条件で時間経過に伴う有意差がなく、条件間にも有意差がなかった。

以上のことから、食事直後に行う全身のストレッチングには、血糖値の上昇を抑制する作用があることが示された。一方、上肢のみのストレッチングには食後の血糖値上昇の抑制作用を認めなかった。ストレッチングの運動時間が同じでも、伸長する部位を多くしてストレッチ刺激を与える筋量を増加させることで、ストレッチングによる食後の血糖値上昇抑制作用が得られるものと考えられた。

### (4) 研究 4

安静条件の血糖値は、食後 45 分後に最も高値を示した後、時間の経過に伴い低下した。ストレッチング条件では、食後 30 分目の血糖値が最も高値を示し、ストレッチングの実施後に血糖値が低下した。ストレッチング条件の食後 45 分目の血糖値は、安静条件よりも有意に低値を示した ( $p < 0.05$ )。ストレッチング条件の血糖値は、食後 30 分目と比較して食後 45 分目以降に有

意な低値を示した ( $p < 0.01$ ). 一方、安静条件の血糖値は、食後 30 分目と比較して食後 90 分目以降に有意に低値を示した ( $p < 0.05$ ). 疲労感、吐き気および腹痛の VAS は、両条件ともに時間経過に伴う有意な変化を認めなかった. これらの結果から、食後に行う短時間の下肢の筋群のみを対象にした座位の静的ストレッチングには、食後の血糖値を低下させる作用があることが示された.

また、食後の座位ストレッチングを 1 日 2 回、連続 5 日間実施したところ、ストレッチング後に、吐き気および腹痛の自覚症状は認められず、疲労感の増大もほとんど認めなかった. 13 名中 10 名の被験者が、このストレッチングは食後に組みやすい運動であると回答した. したがって、本研究で実施した食後の短時間のストレッチングは血糖値管理のための運動として習慣的な実施に適しているものと考えられた.

#### (5) 研究成果のまとめ

本研究の結果から、短時間 (10 分間) の座位姿勢の静的ストレッチングに食後の血糖コントロールの作用が期待でき、痛みが生じ始める強度まで筋を伸長させることで、食後の血糖値低下作用が得られることが示唆された. これにより、ストレッチングの伸長強度の違いが血糖値低下作用に影響を与えることが明らかとなった. さらに、食後の短時間の動的ストレッチングは、吐き気と疲労感を伴うことなく実施でき、食後の血糖値を低下させる急性の作用があることが示唆された. また、ストレッチングの運動時間が同じでも、伸長する部位を多くしてストレッチ刺激を与える筋量を増加させることで、ストレッチングによる食後の血糖値上昇抑制作用が得られることが示された. さらに、下肢の筋群のみを対象にした座位の静的ストレッチングには、食後の血糖値を低下させる作用があることも示された.

これらの結果から、下肢を中心とした大筋群を対象にして、痛みが生じる強度まで伸長させる短時間 (10 分~15 分) のストレッチングが、食後の血糖コントロールのための運動として活用できるものと考えられた. 食後高血糖の状態が長期間継続すると、血管内皮機能障害を引き起こし動脈硬化の発症を引き起こすことから、習慣的に行う食後のストレッチングには高血糖に伴う動脈硬化の進行も抑制できる可能性が考えられ、今後の検証が必要であろう.

一方、本研究で実施した静的および動的ストレッチングの条件下では、動脈弾性指標 CAVI に対する急性の改善効果を確認できなかった. 本研究で実施したストレッチングはウォーキング等の有酸素性運動と比べ、運動時の血流量の上昇が小さくシェアストレスが少なかったことが影響している可能性がある. 習慣的な有酸素性運動は血管内皮機能を向上させ、動脈硬化を予防改善することは明らかになっているが、習慣的なストレッチングが血管機能を改善し、動脈硬化症の改善に寄与するかどうかについては十分に明らかになっていない. 今後さらに検討すべき課題である.

本研究の成果は、食後の血糖値管理のための運動療法としてストレッチングの実用化が期待でき、さらに、ストレッチングが糖尿病の予防・改善のための新しい運動様式になり得る可能性を示すものである. ストレッチングは関節への負担が少なく、安全性に優れ、運動制限のある高齢者や有酸素性運動の実施が困難な低体力者でも実施できる. そのため、本研究成果の適用が可能な対象者の範囲は広い. さらに、ストレッチングは消化管への物理的刺激が少ないことから、消化吸收にも対して負担が小さい. ストレッチングは食前・食後などでも手軽に実践できることから、将来、習慣的に実施可能な糖尿病運動療法のプログラムとして、ストレッチングの活用が期待できる.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 永澤健	4. 巻 52
2. 論文標題 骨格筋へのストレッチによる糖代謝の改善と生活習慣病予防効果	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 月刊細胞	6. 最初と最後の頁 44-47
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 永澤健、白石聖	4. 巻 23
2. 論文標題 高齢者の糖尿病運動療法の新規運動様式としてのストレッチング	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 地域ケアリング	6. 最初と最後の頁 65-67
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 永澤健	4. 巻 46
2. 論文標題 ストレッチングの糖尿病予防効果の解明	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Medical Science Digest	6. 最初と最後の頁 60-62
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 永澤健	4. 巻 37(7)
2. 論文標題 動脈硬化症の予防改善にストレッチングは有効か	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 BIO Clinica	6. 最初と最後の頁 72-76
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------