

令和元年6月11日現在

機関番号：34605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01639

研究課題名(和文) ストレッチングがもたらす糖尿病と動脈硬化症の予防効果の解明

研究課題名(英文) Elucidation of the effect of stretching on prevention 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) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：食後の短時間のストレッチングが血糖値を低下させるかどうか調べるとともに、血管拡張と動脈弾性指標(CAVI)に及ぼすストレッチングの急性効果を検討した。その結果、短時間のストレッチングは血糖値を低下させる急性的作用があることが示唆され、さらに、吐き気と疲労感を伴うことなく、酸化ストレスの上昇もなく実施できたことから、食後の血糖値管理のための有効な運動療法になり得るものと考えられた。一過性のストレッチングは伸長した体肢の血管拡張を引き起こす作用があることが示された一方、動脈弾性指標の改善は認められなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

食後に行う座位姿勢での10分間程度のストレッチング(柔軟運動)が、血糖値上昇の抑制に効果があり、疲労感と吐き気を伴うことなく実施できたことから、食後の血糖値管理のための運動として利用可能であると考えられた。このストレッチングは関節への負担が少なく、呼吸循環器に対しても過度の負担をかけないで手軽に実践できることから、糖尿病の予防改善のための運動療法として広く活用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：This study investigated that whether blood glucose level after meal decreased by the short-term static stretching. We also investigated that acute effect of stretching on vasodilation in stretched arm and arterial elasticity index (CAVI). Blood glucose level after meal decreased by the acute short-term stretching. There was no significant increase in nausea, fatigue scale and blood oxidative stress maker by the stretching. Therefore, the stretching would be effective exercise therapy for blood glucose management after meal. The stretching enhanced muscle metabolism at the stretched site and caused vasodilation of brachial arteries. On the other hand, arterial elasticity index did not improve by the stretching.

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 血糖値管理 糖尿病 血管機能 動脈硬化予防

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19(共通)

1. 研究開始当初の背景

ストレッチングは、加齢に伴う柔軟性の低下の予防、運動障害の予防、肩こりや腰痛の改善に有効であることが知られている。一方、ストレッチングは3メッツ未満の低強度の運動であり、伸長している部位の筋酸素消費量は安静の1.4倍程度の増加（永澤ら、臨床スポーツ医学2010）であることから、ストレッチングのエネルギー消費の増大効果は小さく、肥満治療のための運動療法の主運動には適さないと考えられる。

健康運動指導の場においては、運動時のウォームアップやクールダウンとしてストレッチングを行うことを指導するだけでなく、日常生活の中で静的ストレッチングの実践を推奨することが多い。しかしながら、こうした静的ストレッチングが、生活習慣病の予防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。

我々はこれまでに、静的ストレッチングが伸長部位局所の血液循環に及ぼす効果についての研究に取組み、静的ストレッチングが伸長部位の血流量および組織酸素飽和度を上昇させること、静的ストレッチングは伸長時の伸長部位の血流を一時的に制限するが、終了後に血流量の増加が起こることを報告している（永澤ら、体育学研究2011）。この研究成果は、静的ストレッチングが伸長部位の血管に対して血流量増大に伴うシェアストレスと血管壁を伸展させることを示唆しており、静的ストレッチングにより、血流が促進され血管内皮機能が高まるものと考えられる。このことから、静的ストレッチングの実施が動脈硬化の予防・改善につながる可能性がある。

繰り返しの筋へのストレッチ刺激は、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）の活性化が骨格筋の糖の取り込みを促進させることが報告されている（Iwata et al. Pathobiology 2007）。このことは、ストレッチングに伴う筋への伸長刺激により、筋のインスリン非依存性糖輸送機構が活性化する可能性を示している。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、本研究開始当初において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実施することで、血糖値上昇の抑制と血糖コントロールが改善して、糖尿病の予防・改善につながるものと考えられる。

2. 研究の目的

ストレッチングがもたらす血糖値低下作用を解明して、糖尿病予防に対する静的ストレッチングの効果について検証することを目的とした。さらに、ストレッチングが血管拡張機能および動脈伸展性を改善させるかどうかについて検討した。

まず、本研究では食後の血糖値の上昇抑制に有効な一過性の静的ストレッチングの処方条件について検討した（研究1）。次に、食後に行う10分間の座位静的ストレッチングが血糖値を低下させる作用があるかどうか検討した（研究2）。さらに、一過性の静的ストレッチングは、酸化ストレスの上昇と抗酸化力の低下を引き起こさないで、糖負荷後の血糖値上昇を抑制することができるかどうか検討した（研究3）。また、ストレッチングによる血管拡張機能および動脈伸展性の改善効果について検討するため、静的ストレッチングが伸長部位の代謝、動脈血管径、動脈弾性指標に与える急性効果を調べた（研究4）。

3. 研究の方法

(1) 研究1

ストレッチングのプログラム時間の違いが血糖値上昇抑制作用に及ぼす影響について検討した。運動習慣のない健康成人女性12名（21～22歳）を対象に、糖負荷試験後にストレッチングを15分間実施する条件、30分間実施する条件、座位安静を保持する条件の計3条件を順序無作為に実施した。空腹時から糖負荷120分までの血糖値を測定し、血糖値の変動曲線から血糖上昇曲線下面積を求めた。ストレッチング条件では糖負荷試験30分経過後から、受動的な静的ストレッチングを実施した。

(2) 研究2

食後の短時間の座位静的ストレッチングに血糖値上昇抑制作用があるかどうか検討した。運動習慣のない健康成人女性11名（21～22歳）を対象とし、食後30分の時点から座位によるストレッチングを10分間実施する条件、あるいは座位安静を保持する条件を順序無作為に実施した。試験食として、おにぎり2個（326kcal、炭水化物75g）を摂取した。血糖値の測定を空腹時、摂取後30分、60分、90分、120分に実施した。ストレッチングは座位で被験者自身が実施可能な8種目とし、ストレッチングの前後に吐き気と疲労感をVAS検査法を用いて評価した。

(3) 研究3

ストレッチングの血糖値上昇抑制作用と酸化ストレスへの影響を検討した。運動習慣のない健康成人女性10名（21～22歳）を対象とし、糖負荷試験前にストレッチングを30分間実施する条件、糖負荷試験後にストレッチングを30分間実施する条件、座位安静を保持する条件の計

3条件を順序無作為に実施した。血糖値は摂取前、摂取後30、60、90、120分に、血液中の酸化ストレス度 (Reactive Oxygen Metabolites ; d-ROMs) および抗酸化力 (Biological Anti-oxidant Potential ; BAP)は摂取前、摂取後30、60、120分に測定した。

(4) 研究4

静的ストレッチングが伸長部位の代謝と血管径に及ぼす急性効果について検討した。健康成人女性10名を対象とした。ストレッチングは前腕部を対象に手関節の伸張を10秒および30秒実施した。筋代謝 (筋酸素消費量) は近赤外分光法装置を用いて一時的動脈遮断法により評価した。上腕動脈血管径は超音波画像診断装置を用いて測定した。

また、静的ストレッチングが動脈弾性指標のCAVI (cardio-ankle vascular index) に及ぼす急性の効果を、速歩によるCAVIの変化と比較検討した。健康成人女性11名 (21~22歳) を対象とした。20分の安静の後に30分間のトレッドミルによる速歩 (6.4 km/h) あるいは30分間の静的ストレッチングの2条件を順序無作為に実施した。CAVIは安静時に3回 (5分間隔)、運動後3分、10分、30分に測定した。CAVIは血圧脈波検査装置 (VaseraVS-2000, フクダ電子) により計測した。ストレッチ運動は被験者自身が全身の大筋群を中心とする静的ストレッチ11種目を実施した。各種目は反復回数2回、伸長時間30秒、また体肢対象のストレッチは左右30秒ずつ行い、反復回数1回とした。

4. 研究成果

(1) 研究1

両方のストレッチング条件の血糖値は、糖負荷試験30分後の血糖値と比較して60分、90分、および120分において有意な低下を認めた ($p < 0.01$)。一方、安静条件においては、糖負荷試験90分および120分後においてのみ血糖値が有意な低下を認めた ($p < 0.01$)。血糖上昇曲線下面積は、15分間および30分間のストレッチング条件が安静条件と比較して有意に低値を示した ($p < 0.05$)。これらの結果から、糖負荷試験後に上昇した血糖値が受動的な静的ストレッチングによって降下することが示唆され、ストレッチによる伸張刺激が骨格筋の糖の取込み作用を促進させたものと考えられた。また、15分間といった短時間のストレッチングでも食後の血糖値上昇の抑制に効果があることが示唆された。

(2) 研究2

ストレッチング条件では、食後30分の血糖値と比較して食後60分、90分および120分の血糖値が有意な低値を示した。一方、安静条件の血糖値は、食後30分と60分との間に有意差がなく、食後90分および120分において食後30分よりも有意に低値を示した。ストレッチ条件における食後30分から60分までの血糖値降下量は安静条件よりも有意に高い値を示した。食後高血糖を呈した1名の食後120分後の血糖値は、ストレッチング条件において改善を示した。ストレッチング前後の疲労感と吐き気のVASに有意な変化は認めなかった。

食後に行う短時間の座位ストレッチングには、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。この座位ストレッチングは、吐き気と疲労感を伴うことなく実施できたことから、食後の血糖値管理のための運動として活用できるものと考えられた。

(3) 研究3

血糖値は糖負荷後60分時点において安静条件と比較していずれのストレッチング条件でも有意に低値を示した。そのほかの時点の血糖値は各条件間で有意な差がなかった。血糖上昇曲線下面積は安静条件と比較して糖負荷後のストレッチ条件でも有意に低値を示した (安静条件: 6636 ± 2410 , 糖負荷前のストレッチング条件: 5340 ± 1622 , 糖負荷後のストレッチング条件: 4911 ± 1672)。一方、糖負荷前のストレッチング条件では安静条件と比較して有意な差はなかった。d-ROMs および BAP は、すべての条件において糖負荷試験の時間経過に伴う変化に有意な差がなく、さらに、各条件間においても有意な差がなかった。

一過性のストレッチングは、糖負荷前後における酸化ストレスの上昇と抗酸化力の低下を引き起こさないで、糖負荷後の血糖値上昇を抑制することが示唆され、食後の血糖値管理のための運動として活用できるものと考えられた。

(5) 研究4

伸長部位の筋代謝 (筋酸素消費量) が安静時の1.4倍まで上昇し ($p < 0.05$)、さらに静的ストレッチング後に上腕動脈血管径が安静時よりも13%増大した ($p < 0.01$)。これらの結果から、静的ストレッチングは伸長部位局所の代謝を亢進させるとともに、血管拡張作用を有することを明らかにした。

速歩条件のCAVIは、運動後3分が 5.0 ± 0.7 、10分が 5.0 ± 0.8 で安静時の 5.5 ± 0.5 と比較して有意に低下した ($p < 0.01$)。一方、ストレッチ条件のCAVIは運動後3分が 5.9 ± 0.5 、10分が 5.9 ± 0.5 で安静時の 5.5 ± 0.4 と比較して有意に上昇した ($p < 0.05$)。一過性の30分間の速歩によりCAVIが低下して動脈弾性指標を改善させたものの、30分間のストレッチ運動ではCAVIの改善は認めなかった。

以上のことから、10分間程度の短時間のストレッチングでも食後の血糖値上昇の抑制に効果があることが示唆された。さらに、食後の座位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、酸化ストレスの上昇と抗酸化力の低下を引き起こさなかったことから、本研究で実施したような食後の短時間の静的ストレッチングは食後の血糖値管理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、食後のストレッチングは高血糖に伴う動脈硬化の進行も抑制できる可能性もある。

また本研究では、静的ストレッチングには伸長部位局所の代謝を亢進させるとともに、血管拡張作用があることを示すことができたが、動脈弾性指標 CAVI の改善を認めなかった。ストレッチングの実施が動脈硬化症の予防につながるかどうかについては今後検討すべき課題である。

本研究成果は、糖尿病の予防やその進行の抑制を目的とした運動実践の場での実用化が期待できる。また、ストレッチングは、運動強度が低く消化管への物理的刺激が少なく、消化吸収にも対して負担が小さい。したがってストレッチングは食前・食後などでも実践できることから、日常生活での運動療法としての活用が期待できる。ストレッチングは関節への負担が少なく、呼吸循環器系に対しても過度の負担をかけない。さらに、ストレッチングによる運動療法は、肥満や整形外科的疾患のために運動制限のある者や有酸素性運動の実施が困難な低体力者、高齢者、寝たきり者でも実施でき、本研究成果の応用が可能な対象者の範囲は広い。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

永澤健, 白石聖. ストレッチングによる糖負荷試験後の血糖値上昇抑制作用と食後高血糖の是正効果. Therapeutic Research, 査読有, 7, 673-678, 2015.

〔学会発表〕(計 2 件)

①永澤健. ストレッチ運動の血糖値上昇抑制作用と酸化ストレスへの影響. 第 63 回日本栄養改善学会学術集会, 青森, 2016.

②永澤健. 食後の短時間の座位ストレッチ運動による血糖値上昇抑制作用. 第 64 回日本栄養改善学会学術集会, 徳島, 2017.

〔図書〕(計 1 件)

永澤健. 運動後の生理学的回復, スポーツを楽しむための栄養・食事計画—理論と実践, 川野 因他編著, 光生館, 8-15, 2016.

〔その他〕

招待講演

①永澤健. 運動と栄養 (教育講演). 第 14 回日本栄養改善学会近畿支部学術総会, 奈良, 2015.

②永澤健, 日常生活で実践できる健康運動 (生活習慣改善セミナー). 2015 年度奈良県市町村職員共済組合健康講座.

研究成果公開發表

永澤健. 日本学術振興会 ひらめきときめきサイエンス実施代表者 (研究成果公開プログラム担当, 小学校 5・6 年生対象) 2015~2018 年度.

6. 研究組織

(1) 研究協力者

研究協力者氏名: 白石 聖

ローマ字氏名: (SHIROISHI Kiyoshi)