

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：37201

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K19890

研究課題名(和文) ストレッチングによる筋スティフネス減少メカニズムの解明

研究課題名(英文) Elucidation of the mechanism of muscle stiffness reduction by stretching

研究代表者

中村 雅俊 (Nakamura, Masatoshi)

西九州大学・リハビリテーション学部・准教授

研究者番号：20735287

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)：本研究ではストレッチング強度、およびストレッチング容量(ストレッチング強度×時間)に着目して筋スティフネス減少効果について検討を行った。個人間における相対的なストレッチング強度に着目した研究、個人内におけるストレッチング強度に着目した研究、ストレッチング容量を統一した条件での研究を行った。その結果、ストレッチング強度は筋スティフネス減少において重要な要素であることが明らかとなった。一方、ストレッチング強度に関してはストレッチングを行う筋肉によって異なる可能性があることも明らかとなったため、今後は異なる筋肉や対象においてストレッチング強度の重要性を明らかにしていく必要がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、医療やスポーツ現場で苦慮する筋スティフネスに対する治療法としてのストレッチングについて、ストレッチング強度が筋スティフネス減少に重要な指標であるか否かを明らかにした課題である。本研究成果は、ストレッチング強度が筋スティフネス減少に重要であることを明らかにしただけではなく、対象筋において最適なストレッチング強度が異なる可能性があり、今後の臨床現場でのストレッチング介入において重要な情報となることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated the effects of stretching intensity and stretching capacity (stretching intensity x time) on muscle stiffness reduction. Specifically, we focused on the relative intensity of stretching between individuals, the intensity of stretching within individuals, and the capacity of stretching under uniform conditions. The results revealed that stretching intensity was an important factor in the reduction of muscle stiffness. However, it was also found that stretching intensity may differ depending on the muscles being stretched, and it is necessary to clarify the importance of stretching intensity for different muscles and subjects in the future.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：せん断波エラストグラフィー 弾性率 cross-education effect

1. 研究開始当初の背景

加齢や中枢神経障害, 筋損傷によって筋の長軸方向への伸びにくさ・硬さ(スティフネス)が増加することが報告されている(Eby et al. 2015, Lacourpaille et al. 2015). 筋スティフネスの増加は, 関節可動域やパフォーマンスの低下, 痛みを惹起するため, スポーツ領域や医療・福祉分野において治療に苦慮する問題である. 我々は代表的な治療法のストレッチングによる筋スティフネス減少効果を数多く報告しており, ストレッチングは様々な原因で増加した筋スティフネスに対する治療法として有用であると考えられている.

しかし, これまで筋スティフネス減少にストレッチングが有効であることは報告されているが, ストレッチングによる筋スティフネス減少効果のメカニズムは不明である. 興味深いことに, ストレッチングによる筋スティフネス減少効果には個人差があり, この個人差に影響する要因に関しては不明である. 特に本研究ではストレッチング強度(ストレッチング時に耐えることが出来る伸張強度)に着目して, 筋スティフネス減少メカニズムを探索する必要がある. また本研究では新しいストレッチング介入の指標であるストレッチング容量(強度×時間)に着目し, ストレッチング強度の重要性を検討する必要がある. 本研究を通して, 筋スティフネス減少効果にストレッチング強度が関連することが明らかであれば, ストレッチング強度が低い被験者において, 筋スティフネス減少効果を最大化するためにストレッチング強度を増加させる方策を取ることが推奨される. 以上より, ストレッチング強度を中心に筋スティフネス減少効果に関するメカニズムを明らかにすることを目的に以下の研究を実施した.

2. 研究の目的

- (1) 健常成人を対象にストレッチング強度とストレッチング介入前後におけるスティフネスの変化の関係性の検討(Fukaya, [Nakamura](#) et al. 2020a)
 - (2) 異なるストレッチング強度(120% vs 100% vs 80% 強度)における大腿四頭筋の筋スティフネス減少効果の比較([Nakamura](#), Sato et al. 2021)
 - (3) ストレッチング強度と時間を変更させたストレッチング介入における大腿四頭筋の筋スティフネス減少効果の比較(Takeuchi, [Nakamura](#) et al. 2021)
 - (4) ストレッチング容量を統一した 2 種類のストレッチング介入(高強度・短時間と低強度・長時間)による筋スティフネス減少効果の比較(Fukaya, [Nakamura](#) et al. 2020b)
 - (5) 異なる強度(120% vs 100%)を用いた長期的なストレッチング介入における筋スティフネスの減少効果の比較([Nakamura](#), Yoshida et al. 2021)と非介入側への効果([Nakamura](#), Yoshida et al. 2022)
- 以上の検討を通して, ストレッチング介入における筋スティフネス減少に関してストレッチング強度が重要な指標であるか否かを明らかにすることを目的とした.

3. 研究の方法

- (1) 健常成人を対象にストレッチング強度とストレッチング介入前後におけるスティフネスの変化の関係性の検討(Fukaya, [Nakamura](#) et al. 2020a)

65 名の健常男女の利き足側の下腿三頭筋を対象とし, 120 秒間のスタティックストレッチングを実施し

た。スタティックストレッチング介入前後においてスティフネスの測定をし、スティフネス変化量とストレッチングを行った強度の関係性を検討した。

(2) 異なるストレッチング強度(120% vs 100% vs 80%強度)における大腿四頭筋の筋スティフネス減少効果の比較(Nakamura, Sato et al. 2021)

18名の健常男性を対象に180秒間の異なる3種類のストレッチング強度(120% vs 100% vs 80%強度)のスタティックストレッチング介入効果を比較した。ストレッチング介入前後の大腿四頭筋を構成する大腿直筋、外側広筋、中間広筋の筋スティフネスをせん断波エラストグラフィ機能を用いて測定した。

(3) ストレッチング強度と時間を変更させたストレッチング介入における大腿四頭筋の筋スティフネス減少効果の比較(Takeuchi, Nakamura et al. 2021)

上記の研究より、強すぎるストレッチング強度は筋スティフネス減少効果を損なう可能性が明らかとなったが、この背景には強度が強すぎたのか、ストレッチング時間が長すぎたのかは明らかではないため、実験1では120%強度のストレッチングを60秒間、実験2では110%強度で180秒間のストレッチング強度での効果を検討した。なお、上記の研究と同様にストレッチング介入前後の大腿四頭筋を構成する大腿直筋、外側広筋、中間広筋の筋スティフネスをせん断波エラストグラフィ機能を用いて測定した。

(4) ストレッチング容量を統一した2種類のストレッチング介入(高強度・短時間と低強度・長時間)による筋スティフネス減少効果の比較(Fukaya, Nakamura et al. 2020b)

18名の健常成人を対象にストレッチング容量を統一した2種類のストレッチング介入(高強度・短時間:120%強度で100秒間と低強度・長時間:50%強度で240秒)を実施した。ストレッチング介入前後において腓腹筋内側頭の筋スティフネスをせん断波エラストグラフィ機能を用いて測定した。

(5) 異なる強度(120% vs 100%)を用いた長期的なストレッチング介入における筋スティフネスの減少効果の比較(Nakamura, Yoshida et al. 2021)と非介入側への効果(Nakamura, Yoshida et al. 2022)

これまでのストレッチング研究は即時的な効果であったため、長期的(定期的)な介入におけるストレッチング強度の重要性を明らかにすることを目的に、高強度ストレッチング強度(NRSが6-7)と通常強度ストレッチング強度(NRSが0-1)を用いて、週3回、180秒間のストレッチング介入を4週間実施した。ストレッチング介入前後に筋スティフネスを介入側と反対側で測定した。

4. 研究成果

(1) 健常成人を対象にストレッチング強度とストレッチング介入前後におけるスティフネスの変化の関係性の検討(Fukaya, Nakamura et al. 2020a)

ストレッチング強度とスティフネス減少量の関係性を検討した有意な相関関係は認められなかった(図1. $r = -0.231$, $p = 0.065$)。以上の結果より、個人内のストレッチング強度はスティフネス減少量に関係ない可能性が示された。

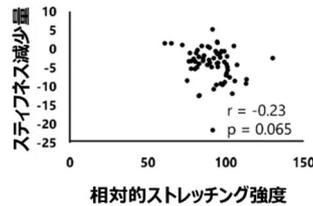


図 1. 相対的ストレッチング強度とスティフネス減少量の関係性

(2) 異なるストレッチング強度(120% vs 100% vs 80%強度)における大腿四頭筋の筋スティフネス減少効果の比較 (Nakamura, Sato et al. 2021)

80%および 120%強度を用いたストレッチング介入においては有意な筋スティフネスの減少効果は認められなかったが、100%強度においては有意な大腿直筋の筋スティフネス減少効果が認められた。以上の結果より、強すぎるストレッチング強度を用いた場合、大腿四頭筋、特に大腿直筋の筋スティフネス減少効果が損なわれる可能性が示された。

(3) ストレッチング強度と時間を変更させたストレッチング介入における大腿四頭筋の筋スティフネス減少効果の比較 (Takeuchi, Nakamura et al. 2021)

実験 1 の結果、120%強度で 60 秒間のスタティックストレッチング介入により筋スティフネスには有意な変化は認められなかった。一方、実験 2 において 110%強度で 180 秒間のスタティックストレッチング介入により大腿直筋の筋スティフネスが有意な減少効果が認められた。この結果より、筋スティフネス減少には最適なストレッチング強度がある可能性が示された。

(4) ストレッチング容量を統一した 2 種類のストレッチング介入(高強度・短時間と低強度・長時間)による筋スティフネス減少効果の比較 (Fukaya, Nakamura et al. 2020b)

2 種類のストレッチング介入において、両介入方法とも有意に筋スティフネスは減少した(高強度・短時間: -8.8 ± 6.1 kPa, 変化率: $-38.8 \pm 14.5\%$, 低強度・長時間: -8.0 ± 12.8 kPa, 変化率: $\Delta -22.2 \pm 33.8\%$)。また変化率同士の比較において、高強度・短時間ストレッチングの方が低強度・長時間ストレッチングよりも有意に大きな筋スティフネス減少効果を認めた。

(5) 異なる強度(120% vs 100%)を用いた長期的なストレッチング介入における筋スティフネスの減少効果の比較 (Nakamura, Yoshida et al. 2021)と非介入側への効果 (Nakamura, Yoshida et al. 2022)

4 週間の高強度および通常強度のストレッチング介入によって筋スティフネスは有意に減少した。筋スティフネス減少量同士の比較を行った結果、高強度ストレッチング群の方が通常強度ストレッチング群よりも有意に大きな筋スティフネス減少効果を認めた。一方、非介入側においては筋スティフネスは有意な変化は認められなかった。以上より、即時的なストレッチング介入だけでなく、長期的(定期的)なストレッチング介入においてもストレッチング強度は筋スティフネス減少に重要な指標であることが明らかとなった。

以上の研究を通して、ストレッチング強度は筋スティフネス減少効果に重要な要素であり、その効果は

ストレッチング容量(強度×時間)を統一した場合においても重要であることが示された。しかし、対象とする筋肉においてはストレッチング強度において適切な強度設定がある可能性があるため、今後もさらなる検討が必要である。また、これまでの研究は健常若年者を対象とした研究であるため、今後は高齢者や有疾患者での検討の必要性がある。

Fukaya T, Nakamura M, Sato S, Kiyono R, Yahata K, Inaba K, Nishishita S, Onishi H. The Relationship between Stretching Intensity and Changes in Passive Properties of Gastrocnemius Muscle-Tendon Unit after Static Stretching. *Sports (Basel)*. 2020 Oct 23;8(11):140.

Fukaya T, Kiyono R, Sato S, Yahata K, Yasaka K, Onuma R, Nakamura M. Effects of Static Stretching With High-Intensity and Short-Duration or Low-Intensity and Long-Duration on Range of Motion and Muscle Stiffness. *Front Physiol*. 2020 Nov 20;11:601912.

Nakamura M, Sato S, Murakami Y, Kiyono R, Yahata K, Sanuki F, Yoshida R, Fukaya T, Takeuchi K. The Comparison of Different Stretching Intensities on the Range of Motion and Muscle Stiffness of the Quadriceps Muscles. *Front Physiol*. 2021 Jan 13;11:628870.

Takeuchi K, Sato S, Kiyono R, Yahata K, Murakami Y, Sanuki F, Yoshida R, Nakamura M. High-Intensity Static Stretching in Quadriceps Is Affected More by Its Intensity Than Its Duration. *Front Physiol*. 2021 Jul 5;12:709655. doi: 10.3389/fphys.2021.709655.

Nakamura M, Yoshida R, Sato S, Yahata K, Murakami Y, Kasahara K, Fukaya T, Takeuchi K, Nunes JP, Konrad A. Comparison Between High- and Low-Intensity Static Stretching Training Program on Active and Passive Properties of Plantar Flexors. *Front Physiol*. 2021 Dec 17;12:796497.

Nakamura M, Yoshida R, Sato S, Yahata K, Murakami Y, Kasahara K, Fukaya T, Takeuchi K, Nunes JP, Konrad A. Cross-education effect of 4-week high- or low-intensity static stretching intervention programs on passive properties of plantar flexors. *J Biomech*. 2022 Mar;133:110958.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 11件／うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Nakamura M, Yoshida R, Sato S, Yahata K, Murakami Y, Kasahara K, Fukaya T, Takeuchi K, Nunes JP, Konrad A.	4. 巻 17; 12
2. 論文標題 Comparison Between High- and Low-Intensity Static Stretching Training Program on Active and Passive Properties of Plantar Flexors.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Front Physiol.	6. 最初と最後の頁 796497
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphys.2021.796497.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Nakamura M, Yoshida R, Sato S, Yahata K, Murakami Y, Kasahara K, Fukaya T, Takeuchi K, Nunes JP, Konrad A.	4. 巻 -
2. 論文標題 Cross-education effect of 4-week high- or low-intensity static stretching intervention programs on passive properties of plantar flexors.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J Biomech	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbiomech.2022.110958.	査読の有無 有
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 該当する
1. 著者名 Fukaya T, Konrad A, Sato S, Kiyono R, Yahata K, Yasaka K, Onuma R, Yoshida R, Nakamura M.	4. 巻 4; 12
2. 論文標題 Comparison Between Contract-Relax Stretching and Antagonist Contract-Relax Stretching on Gastrocnemius Medialis Passive Properties.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Front Physiol.	6. 最初と最後の頁 764792
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphys.2021.764792.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Kasahara K, Yoshida R, Yahata K, Sato S, Murakami Y, Aizawa K, Konrad A, Nakamura M.	4. 巻 21
2. 論文標題 Comparison of the Acute Effects of Foam Rolling with High and Low Vibration Frequencies on Eccentrically Damaged Muscle	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J Sports Sci Med	6. 最初と最後の頁 112-119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.52082/jssm.2022.112.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nakamura M, Ikezu H, Sato S, Yahata K, Kiyono R, Yoshida R, Takeuchi K, Nunes JP.	4. 巻 18(7)
2. 論文標題 Effects of Adding Inter-Set Static Stretching to Flywheel Resistance Training on Flexibility, Muscular Strength, and Regional Hypertrophy in Young Men	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Int J Environ Res Public Health	6. 最初と最後の頁 3770
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijerph18073770.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nakamura M, Sato S, Kiyono R, Yoshida R, Murakami Y, Yasaka K, Yahata K, Konrad A.	4. 巻 12
2. 論文標題 Acute Effect of Vibration Roller With and Without Rolling on Various Parts of the Plantar Flexor Muscle.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Front Physiol.	6. 最初と最後の頁 716668
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphys.2021.716668.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nakamura M, Konrad A, Kiyono R, Sato S, Yahata K, Yoshida R, Yasaka K, Murakami Y, Sanuki F, Wilke J.	4. 巻 12
2. 論文標題 Local and Non-local Effects of Foam Rolling on Passive Soft Tissue Properties and Spinal Excitability	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Front Physiol.	6. 最初と最後の頁 702042
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphys.2021.702042	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nakamura M, Konrad A, Kiyono R, Sato S, Yahata K, Yoshida R, Murakami Y, Sanuki F, Wilke J.	4. 巻 20(4)
2. 論文標題 Sex Differences in the Mechanical and Neurophysiological Response to Roller Massage of the Plantar Flexors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J Sports Sci Med	6. 最初と最後の頁 665-671
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.52082/jssm.2021.665	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nakamura M, Sato S, Kiyono R, Yoshida R, Yasaka K, Yahata K, Konrad A.	4. 巻 -
2. 論文標題 Comparison Between Foam Rolling With and Without Vibration on Passive and Active Plantar Flexor Muscle Properties.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J Strength Cond Res.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1519/JSC.0000000000004123.	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Yahata Kaoru, Konrad Andreas, Sato Shigeru, Kiyono Ryosuke, Yoshida Riku, Fukaya Taizan, Nunes Joao Pedro, Nakamura Masatoshi	4. 巻 121
2. 論文標題 Effects of a high-volume static stretching programme on plantar-flexor muscle strength and architecture	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 European Journal of Applied Physiology	6. 最初と最後の頁 1159 ~ 1166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00421-021-04608-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nakamura Masatoshi, Sato Shigeru, Murakami Yuta, Kiyono Ryosuke, Yahata Kaoru, Sanuki Futaba, Yoshida Riku, Fukaya Taizan, Takeuchi Kosuke	4. 巻 11
2. 論文標題 The Comparison of Different Stretching Intensities on the Range of Motion and Muscle Stiffness of the Quadriceps Muscles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 xx-xx
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphys.2020.628870	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Fukaya Taizan, Kiyono Ryosuke, Sato Shigeru, Yahata Kaoru, Yasaka Koki, Onuma Remi, Nakamura Masatoshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Effects of Static Stretching With High-Intensity and Short-Duration or Low-Intensity and Long-Duration on Range of Motion and Muscle Stiffness	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 xx-xx
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphys.2020.601912	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nakamura Masatoshi, Yahata Kaoru, Sato Shigeru, Kiyono Ryosuke, Yoshida Riku, Fukaya Taizan, Nunes Jo?o Pedro, Konrad Andreas	4. 巻 12
2. 論文標題 Training and Detraining Effects Following a Static Stretching Program on Medial Gastrocnemius Passive Properties	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 xx-xx
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphys.2021.656579	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計3件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 中村雅俊, 佐藤成, 清野涼介, 八幡薫, 吉田麗玖
2. 発表標題 地域在住高齢者に対するストレッチング介入効果の比較スタティックストレッチングとホールドリラクソストレッチングの比較 -
3. 学会等名 第25回日本基礎理学療法学会学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深谷泰山, 中村雅俊, 佐藤成, 清野涼介, 八幡薫, 稲葉和貴, 西下智, 大西秀明
2. 発表標題 ストレッチング中の応力緩和が ROMおよび受動トルクに及ぼす影響
3. 学会等名 第74回 日本体力医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 深谷泰山, 中村雅俊, 佐藤成, 清野涼介, 八幡薫, 稲葉和貴, 西下智, 大西秀明
2. 発表標題 スタティックストレッチングの強度がROMおよび受動トルクに及ぼす影響
3. 学会等名 第24回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Masatoshi Nakamura Lab
<https://nakamura-pt.jp/>

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			
オーストリア	Graz University			
ブラジル	Londrina State University			