

令和元年6月25日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03043

研究課題名(和文) 新たな筋伸張指標を用いた最適なストレッチング法の開発

研究課題名(英文) Clarification of the optimal position and technique for stretching using a novel index for muscle elongation

研究代表者

市橋 則明 (ICHIHASHI, NORIAKI)

京都大学・医学研究科・教授

研究者番号：50203104

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：超音波のせん断波エラストグラフィー機能を用いて、個別の筋の伸張量の評価を行うことで、最適なストレッチング方法を検討し、以下の結果を得た。1)大腿筋膜張筋のストレッチングは、膝関節を90度以上屈曲位で股関節を内転伸展方向にストレッチングする方法が膝関節を伸展位でストレッチするよりも効果的である。2)ハムストリングスのストレッチングでは半膜様筋が最も伸張される。3)小胸筋のストレッチングは肩関節水平外転が効果的であり、このストレッチングにより肩挙上時の肩甲骨の後傾と外旋角度を増加させることができる。4)棘下筋のストレッチングであるクロスボディストレッチングでは、肩甲骨の固定が重要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超音波診断装置のせん断波エラストグラフィー機能を用いて、個別の筋の硬さの評価を行うことで、最適なストレッチング方法を検討した。その結果、今までは経験的に行われてきたストレッチング方法を筋の硬さの変化という指標で科学的に証明することができた。その成果として、ストレッチングに関する18の論文と38の学会発表を行った。これらの知見は理学療法やスポーツ現場でのストレッチングに大いに役立つと考える。

研究成果の概要(英文)：The stiffness of the individual muscle during stretching was evaluated with the use of ultrasonic shear wave elastography. We have obtained the following findings concerning the optimal position and technique for stretching; 1) the tensor fascia late muscle is more stretched with the hip adducted at knee in >90degree flexion, compared to knee extended position, 2) the semimembranosus muscle is most stretched in hamstring stretching, 3) the pectoralis minor muscle is most stretched with shoulder horizontal abduction stretching, and this stretching would increase scapular posterior tilt and external rotation during shoulder elevation, 4) Scapular stabilization is a key to stretch the infraspinatus muscle in cross body stretching.

研究分野：理学療法学

キーワード：ストレッチング 超音波 エラストグラフィー 筋

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

リハビリテーション現場において、ストレッチングは関節可動域制限に対する治療として頻繁に用いられている。しかし、近年筋の柔軟性に対するストレッチングの効果に関して、伸張刺激や痛みに対する耐性が増加しただけで筋そのものの柔軟性は改善していないとの指摘も多く見られ、筋の柔軟性に対するストレッチングの効果の有無は注目されている。先行研究は「筋の柔軟性」の指標として受動トルクや単純な超音波画像を用いており、腱や関節包など筋以外の組織も含めた筋腱複合体の柔軟性を評価しているため、実際に個別の筋がどれくらい伸張されているか明らかではないといった問題点があった。そのため、最近では組織の硬さを評価する超音波エラストグラフィ機能を用いて、骨格筋の硬さを評価する試みがされてきている。なかでもせん断波を用いたエラストグラフィは、個別の筋の硬さをリアルタイムかつ定量的に評価できる革新的な技法である。本研究では、せん断波エラストグラフィを用いて非侵襲的かつ定量的に骨格筋の硬さを評価し、どのようなストレッチング方法が筋の柔軟性の改善に有効であるかを明らかにする。

2. 研究の目的

本研究の目的は、超音波診断装置のせん断波エラストグラフィ機能を用いて、個別の筋の硬さの評価を行うことで、最適なストレッチング方法を検討することである。

3. 研究の方法

超音波診断装置のせん断波エラストグラフィ機能を用いて、筋の硬さの評価を行った。対象とする筋の直上に超音波プローブを貼付し、音響照射圧によって筋内にせん断波を生成させる。そのせん断波の伝播速度を計測することで、個別の筋の硬さ（弾性率）を推定することができる。さらに推定された弾性率を通常の超音波 B モード画像上にカラーマップとして示すことで、ほぼリアルタイムで筋の弾性率の変化を視覚的に捉えることができる（図 1）。

せん断波エラストグラフィにより計測される弾性率の特徴として、ストレッチング中（つまり、筋を伸長している最中）に計測された弾性率が高値を示すことは、筋が伸長されていること意味する。また、ストレッチング介入後に弾性率が低下したことは、筋の柔軟性が向上したことを意味する。

これらのことから、我々は超音波診断装置のせん断波エラストグラフィ機能を用いてストレッチング中及びストレッチング介入前後で計測した弾性率をそれぞれ個別の筋の伸長量及び筋の柔軟性の指標とし、生体の様々な筋に対する最適なストレッチング方法の検討を行った。

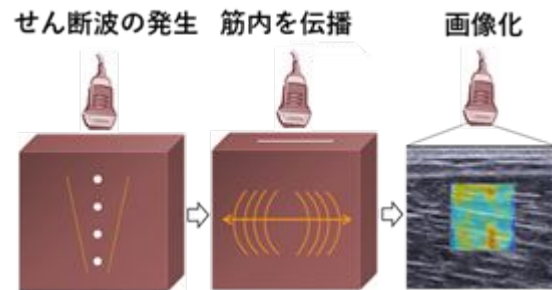


図 1. 超音波診断装置せん断波エラストグラフィ機能による筋の硬さの評価

4. 研究成果

1) 個々の筋の弾性率と関節受動トルクの関係

せん断波エラストグラフィで測定した個々の筋の弾性率と一般的に筋腱複合体の柔軟性評価として用いられている受動トルクの相関関係が高いことを示し、筋の弾性率が筋の柔軟性評価として利用できることを明らかとした。さらに受動トルクの評価では各関節に関わる筋、腱、関節包などすべてのものをまとめてしか評価できないが、せん断波エラストグラフィでは、個別の筋の柔軟性を評価できるため、ストレッチングの効果判定に適していることが明らかになった。

2) 大腿筋膜張筋の効果的なストレッチング方法

健常男性 20 名を対象に、大腿筋膜張筋の効果的なストレッチング方法を検討した。股関節内転及び伸展に加え、膝関節角度と股関節回旋角度を変化させたときの大腿筋膜張筋の弾性率を計測した。その結果、大腿筋膜張筋のストレッチング方法に関して、膝関節を 90 度以上屈曲位で股関節を内転伸展方向にストレッチングする方法が膝関節を伸展位でストレッチングするよりも効果的であることが明らかとなった。

3) ハムストリングスに対する即時的及び長期的なストレッチング効果

健常男性 20 名を対象に、ハムストリングスの効果的なストレッチング肢位を検討した。骨盤を前傾させた股関節 90° 屈曲位での背臥位において、膝関節 90° 屈曲位から 45° 伸展方向へ動かしたときに、ハムストリングスを構成する大腿二頭筋、半膜様筋、半腱様筋の弾性率を計測した。大腿二頭筋、半膜様筋、半腱様筋の弾性率には違いがあり、半膜様筋が 3 筋の中で最も筋硬度が高いことが明らかとなった（図 2 左 PRE）。加えて、ハムストリングスに対するストレッチングの即時効果も検討した。ハムストリングスに対する 5 分間のストレッチング前後で、大腿二頭筋、半膜様筋、半腱様筋の弾性率を計測した。ハムストリングスのストレッチング効果にも違いがあり、ストレッチングによる即時的な柔軟性の向上効果は半膜様筋において最も

大きいことが明らかとなった(図2右)。さらに、ハムストリングスに対する4週間のストレッチング介入の効果を調べた。対象は健康男性30名とし、静的ストレッチング群とコントロール群にわけ、ハムストリングスを構成する各筋の弾性率を介入前後に測定した。半腱様筋、半膜様筋、大腿二頭筋の全ての筋で、介入による有意な弾性率の低下が見られたが(図3左)変化率は半膜様筋で最も大きかった(図3右)。これらの結果より、ハムストリングスに対する効果的なストレッチング方法と即時的及び長期的なストレッチング介入効果が明らかとなった。

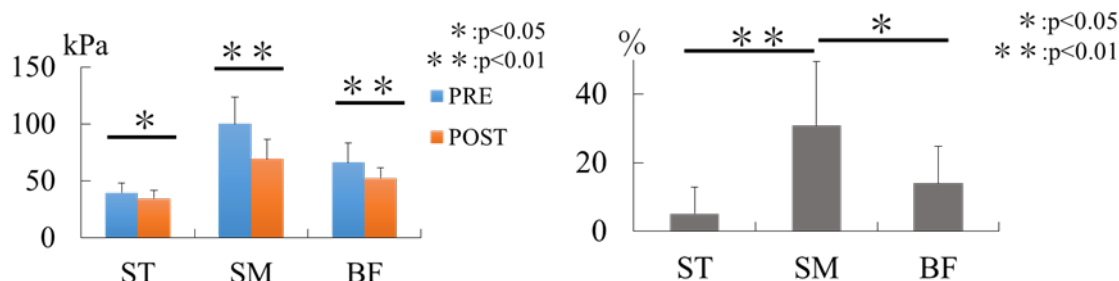


図2. ハムストリングスに対するストレッチングの即時効果. 計測された弾性率の比較(左)とその変化率の比較(右)

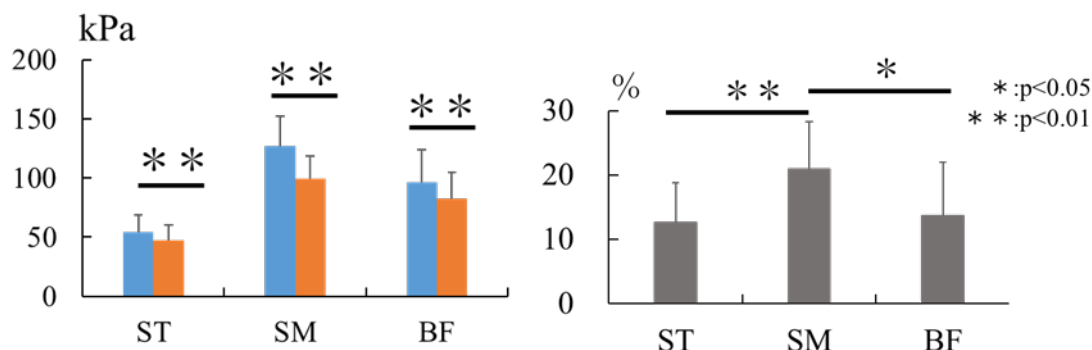


図3. ハムストリングスに対するストレッチングの長期介入効果. 介入前後に計測された弾性率の比較(左)とその変化率の比較(右)

4) ハムストリングスの弾性率に対する骨盤傾斜角度の影響

対象は健康男性15名とし、ハムストリングスを他動的に伸張した時に、ハムストリングスを構成する各筋にかかる張力と骨盤肢位の影響を調べた。対象者は、背臥位にて大腿骨を体幹に対して70°屈曲、膝関節は30°屈曲位とし、この肢位で骨盤を前傾、後傾、中間位で他動的に保持し、半腱様筋、半膜様筋、大腿二頭筋の各筋の弾性率を評価した。弾性率は半膜様筋で他の筋と比較して有意に高く、骨盤前傾では後傾と比べて全ての筋で有意に高かった。

5) 野球選手に対するストレッチングの介入効果

野球選手24名を対象に、modified cross-body stretch(MCS)とmodified sleeper stretch(MSS)の効果を比較した。対象者はMCS群とMSS群のいずれかに群分けし、4週間のストレッチ介入前後に関節可動域と肩関節後方の筋群の弾性率を評価した。介入後には両群で肩関節内旋と水平内転の可動域は増加したのに加え、MCS群では小円筋の、MSS群では棘下筋の弾性率が低下した。これらの結果より、MCSとMSSのストレッチング介入は、肩関節内旋可動域及び水平内転可動域の増加と小円筋及び棘下筋の弾性率の低下に有効であることが明らかとなった。

6) 若年及び高齢女性に対するストレッチングの即時効果

高齢女性15名と若年女性15名を対象に、腓腹筋に対し5分間のストレッチングを行った。ストレッチング前後で、腓腹筋内側頭及び外側頭の弾性率を計測した。その結果、腓腹筋の弾性率は両群共に低下し、高齢者と若年者で効果の違いはなく、5分間の腓腹筋に対するストレッチング効果は高齢者及び若年者で類似していることが明らかとなった。

7) 小胸筋の効果的なストレッチング方法

健康男性18名を対象に、小胸筋の効果的なストレッチング肢位を検討した。肩関節挙上30°及び90°、150°の3つの挙上角度と肩関節屈曲、水平外転と外旋、リトラクション(上腕骨の長軸圧迫)の3つのストレッチング方法を組み合わせた9肢位において、小胸筋の弾性率を計測した。その結果、肩関節挙上90°挙上位または150°挙上位から最大水平外転と最大外旋を行う方法が最も効果的なストレッチング方法であることが明らかとなった(図4)。

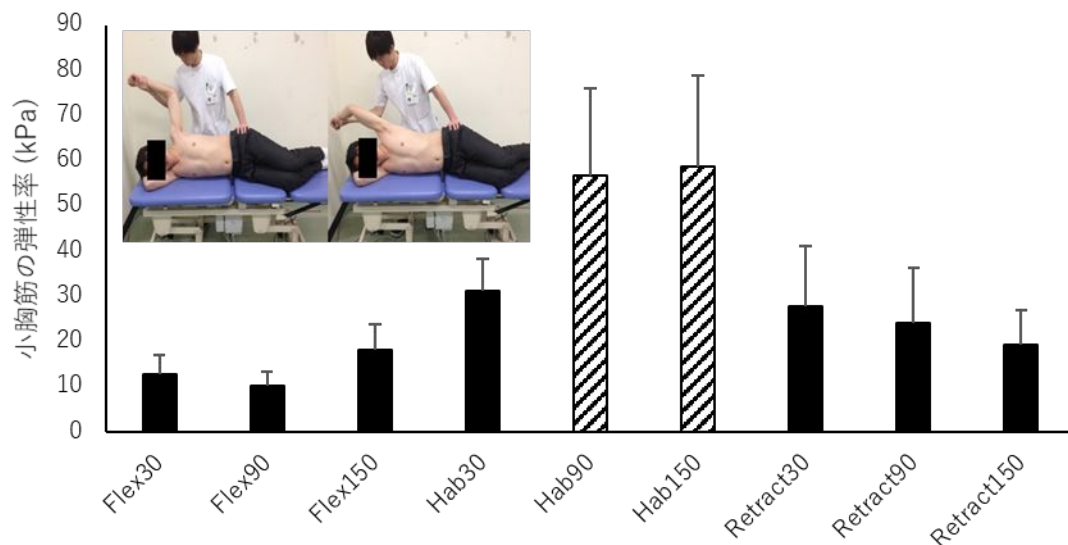


図4. 小胸筋の効果的なストレッチング方法

8) 小胸筋の柔軟性と肩甲骨運動の関連

健常男性 15 名を対象に、小胸筋のストレッチングが肩関節挙上時の肩甲骨の動きに与える影響を検討した。肩関節挙上 150° からの最大水平外転と最大外旋を行う小胸筋のストレッチングを 5 分間介入した前後において、小胸筋の弾性率と上肢挙上中の肩甲骨運動を計測した。その結果、ストレッチングを行うことで、小胸筋の柔軟性は低下し、肩関節挙上時の肩甲骨の後傾角度と外旋角度を増加できることが明らかとなった。

9) Cross-body stretch における徒手的な肩甲骨固定の有用性

健常男性 20 名を対象に、Cross-body stretch (肩関節水平内転ストレッチング) を行い、肩関節後方構造体に対する肩甲骨の固定の有無の効果を比較した。Cross-body stretch 前後で、肩関節後方構造体を構成する棘下筋、小円筋、三角筋後部線維の弾性率を計測した。その結果、肩甲骨を固定して Cross-body stretch を行ったときのみ棘下筋の弾性率が低下し、Cross-body stretch 時の肩甲骨の固定の重要性が明らかとなった。

10) 棘上筋の効果的なストレッチング方法

健常男性 15 名を対象に、棘上筋の効果的なストレッチング肢位を検討した。肩関節 45° または 90° 挙上位から最大水平外転と最大内旋を行う方法及び肩関節最大伸展に最大内旋を加える方法において棘上筋の弾性率は高値を示し、棘上筋の効果的なストレッチング方法が明らかとなった (図 5)。

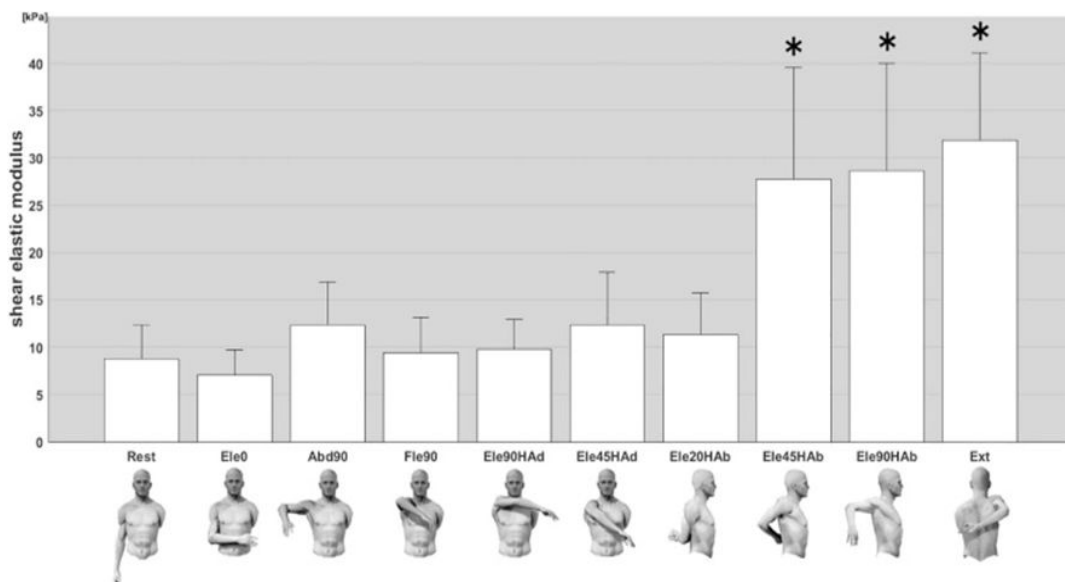


図5. 各ストレッチング肢位における棘上筋の弾性率

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 18 件)

Masaki M, Ji X, Yamauchi T, Tateuchi H, Ichihashi N. Effects of the trunk position on muscle stiffness that reflects elongation of the lumbar erector spinae and multifidus muscles: an ultrasonic shear wave elastography study. *Eur J Appl Physiol*. 査読有、12, 2019, doi: 10.1007/s00421-019-04098-6.

Umehara J, Nakamura M, Nishishita S, Tanaka H, Kusano K, Ichihashi N. Scapular kinematic alterations during arm elevation with decrease in pectoralis minor stiffness after stretching in healthy individuals. *J Shoulder Elbow Surg*. 査読有、27(7), 2018, 1214-1220. doi: 10.1016/j.jse.2018.02.037.

Nishishita S, Hasegawa S, Nakamura M, Umegaki H, Kobayashi T, Ichihashi N. Effective stretching position for the supraspinatus muscle evaluated by shear wave elastography in vivo. *J Shoulder Elbow Surg*. 査読有、27(12), 2018, 2242-2248. doi: 10.1016/j.jse.2018.06.003.

Fujita K, Nakamura M, Umegaki H, Kobayashi T, Nishishita S, Tanaka H, Ibuki S, Ichihashi N. Effects of a Thermal Agent and Physical Activity on Muscle Tendon Stiffness, as Well as the Effects Combined With Static Stretching. *J Sport Rehabil*. 査読有、27(1), 2018, 66-72. doi: 10.1123/jsr.2015-0165.

Nakamura M, Ikezoe T, Nishishita S, Umehara J, Kimura M, Ichihashi N. Acute effects of static stretching on the shear elastic moduli of the medial and lateral gastrocnemius muscles in young and elderly women. *Musculoskelet Sci Pract*. 査読有、25, 2017, 98-103. doi: 10.1016/j.msksp.2017.09.006.

Kusano K, Nishishita S, Nakamura M, Tanaka H, Umehara J, Ichihashi N. Acute effect and time course of extension and internal rotation stretching of the shoulder on infraspinatus muscle hardness. *J Shoulder Elbow Surg*. 査読有、26(10), 2017, 1782-1788. doi: 10.1016/j.jse.2017.04.018.

Umehara J, Nakamura M, Fujita K, Kusano K, Nishishita S, Araki K, Tanaka H, Yanase K, Ichihashi N. Shoulder horizontal abduction stretching effectively increases shear elastic modulus of pectoralis minor muscle. *J Shoulder Elbow Surg*. 査読有、26(7), 2017, 1159-1165. doi: 10.1016/j.jse.2016.12.074.

Nakamura M, Ikezoe T, Umegaki H, Kobayashi T, Nishishita S, Ichihashi N. Changes in Passive Properties of the Gastrocnemius Muscle-Tendon Unit During a 4-Week Routine Static-Stretching Program. *J Sport Rehabil*. 査読有、26(4), 2017, 263-268. doi: 10.1123/jsr.2015-0198.

Umehara J, Hasegawa S, Nakamura M, Nishishita S, Umegaki H, Tanaka H, Fujita K, Kusano K, Ichihashi N. Effect of scapular stabilization during cross-body stretch on the hardness of infraspinatus, teres minor, and deltoid muscles: An ultrasonic shear wave elastography study. *Musculoskelet Sci Pract*. 査読有、27, 2017, 91-96. doi: 10.1016/j.math.2016.10.004.

中村雅俊, 池添冬芽, 西下智, 梅原潤, 市橋則明: ストレッチング方法の違いにより大腿二頭筋の伸長部位を変化させることができるか? セン断波エラストグラフィ機能を用

いた検討 理学療法学. 査読有、44、2017、124-130 . DOI : 10.15063/rigaku.11229

中村雅俊, 池添冬芽, 西下智, 梅原潤, 市橋則明: スタティックストレッチングが腓腹筋筋腱複合体の筋力及びスティフネスに及ぼす影響の検討: 異なるストレッチング時間と回復回数を用いた検討. 体力科学. 査読有、66、2017、163-168 . DOI: 10.7600/jspfsm.66.163

Ichihashi N, Umegaki H, Ikezoe T, Nakamura M, Nishishita S, Fujita K, Umehara J, Nakao S, Ibuki S. The effects of a 4-week static stretching programme on the individual muscles comprising the hamstrings. *J Sports Sci*. 査読有、34(23), 2016, 2155-2159. DOI: 10.1080/02640414.2016.1172725

Yamauchi T, Hasegawa S, Nakamura M, Nishishita S, Yanase K, Fujita K, Umehara J, Ji X, Ibuki S, Ichihashi N. Effects of two stretching methods on shoulder range of motion and muscle stiffness in baseball players with posterior shoulder tightness: a randomized controlled trial. *J Shoulder Elbow Surg*. 査読有、25(9), 2016, 1395-403. doi: 10.1016/j.jse.2016.04.025.

Nakamura M, Hasegawa S, Umegaki H, Nishishita S, Kobayashi T, Fujita K, Tanaka H, Ibuki S, Ichihashi N. The difference in passive tension applied to the muscles composing the hamstrings - Comparison among muscles using ultrasound shear wave elastography. *Man Ther*. 査読有、24, 2016, 1-6. doi: 10.1016/j.math.2016.03.012.

Umehara J, Ikezoe T, Nishishita S, Nakamura M, Umegaki H, Kobayashi T, Fujita K, Ichihashi N. Effect of hip and knee position on tensor fasciae latae elongation during stretching: An ultrasonic shear wave elastography study. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 査読有、2015, 1056-9. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2015.09.007.

Nakamura M, Ikezoe T, Tokugawa T, Ichihashi N. Acute Effects of Stretching on Passive Properties of Human Gastrocnemius Muscle-Tendon Unit: Analysis of Differences Between Hold-Relax and Static Stretching. J Sport Rehabil. 査読有、2015, 286-92. doi: 10.1123/jsr.2014-0164.

Umegaki H, Ikezoe T, Nakamura M, Nishishita S, Kobayashi T, Fujita K, Tanaka H, Ichihashi N. Acute effects of static stretching on the hamstrings using shear elastic modulus determined by ultrasound shear wave elastography: Differences in flexibility between hamstring muscle components. Man Ther. 査読有、20(4), 2015, 610-3. doi: 10.1016/j.math.2015.02.006.

Umegaki H, Ikezoe T, Nakamura M, Nishishita S, Kobayashi T, Fujita K, Tanaka H, Ichihashi N. The effect of hip rotation on shear elastic modulus of the medial and lateral hamstrings during stretching. Man Ther. 査読有、20(1), 2015, 134-7. doi: 10.1016/j.math.2014.07.016.

〔学会発表〕(計 38 件)

小川拓朗, 佐伯純弥, 市橋則明: 内転筋のスタティックストレッチングにおける股関節屈曲角度の影響. 第 55 回日本リハビリテーション医学会学会集會. 2018.

中尾彩佳, 池添冬芽, 八木優英, 梅原潤, 野尻周佑, 市橋則明: 足関節背屈に伴う腓腹筋の弾性率および筋輝度の変化. 第 23 回日本基礎理学療法学会学会大会. 2018.12.15-16.

野尻周佑, 池添冬芽, 中尾彩佳, 梅原潤, 本村芳樹, 八木優英, 廣野哲也, 市橋則明: スタティックストレッチングにおける休息時間の違いが腓腹筋の柔軟性向上効果に与える影響. 第 23 回日本基礎理学療法学会学会大会. 2018.12.15-16.

Yanase K, Ikezoe T, Nakamura M, Saeki J, Yagi M, Hirono T, Tamezawa T, Motomura Y, Ichihashi N: What is the effective stretching position for elongating neck extensor muscles? An ultrasonic shear wave elastography study. 22nd annual congress of the european college of sport science 2017. July. 5-8.

Saeki J, Nakamura M, Yagi M, Yanase K, Ichihashi N: Acute Effect of Partner-stretching and Self-stretching on the Flexor digitorum longus muscle: A Randomized Crossover Study. 2017 College of Podiatry Annual Conference. 2017.11.16-18.

佐伯純弥, 中村雅俊, 八木優英, 為沢透, 市橋則明: ストレッチングにおける足関節の操作方法が長趾屈筋の伸張度に与える影響. 第 5 回 NSCA 国際カンファレンス. 2017.1.27-29.

佐伯純弥, 中村雅俊, 八木優英, 市橋則明: 足趾底屈筋に対する徒手的ストレッチングおよびセルフストレッチング効果の比較検討. 第 52 回日本理学療法学会大会. 2017.5.12-14.

本村芳樹, 建内宏重, 中尾彩佳, 神谷碧, 水上優, 八木優英, 市橋則明: ストレッチングによる即時的な受動的張力の低下が運動時の共同筋間の筋張力制御に及ぼす影響. 第 52 回日本理学療法学会大会. 2017. 5. 12-14.

駒村智史, 草野拳, 為沢透, 市橋則明: 棘下筋ストレッチングが上肢挙上時の肩甲骨運動に与える影響. 第 52 回日本理学療法学会大会. 2017.5.12-14

西下智, 草野拳, 廣野哲也, 中村雅俊, 梅原潤, 市橋則明: 棘下筋上部線維の効果的なストレッチング方法の検討-肩関節の最適な方向と回旋の探索-. 第 52 回日本理学療法学会大会, 2017.5.12-14.

森下 勝行, 中村 雅俊, 佐伯 純弥, 八木 優英, 西下 智, 坪山 直生, 市橋則明: 超音波照射が下腿三頭筋の筋硬度と足関節の受動スティフネスに与える影響. 第 52 回日本理学療法学会大会. 2017. 5. 12-14 .

駒村智史, 梅原潤, 草野拳, 為沢透, 市橋則明: 肩関節伸展・内旋ストレッチングが肩甲骨運動に与える影響. 第 14 回肩の運動機能研究会. 2017.10.6-8.

他 26 件の学会発表

〔その他〕

ホームページ: <http://clin-biomech.hs.med.kyoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 池添冬芽

ローマ字氏名: IKEZOE TOME

所属研究機関名: 京都大学大学院

部局名: 医学研究科

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 10263146

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、研究者個人に帰属されます。