

特集

feature

スポーツ現場におけるストレッチングの処方について

中村 雅俊, Ph.D., RPT, 西九州大学リハビリテーション学部 リハビリテーション学科 理学療法学専攻 准教授

1. はじめに

運動前、運動中、もしくは運動後にストレッチングを行なうことはスポーツ現場で頻回に見受けられる。ストレッチングは筋をじっくりと伸ばすスタティック(静的)ストレッチングやダイナミックストレッチング、バリスティックストレッチング、筋収縮を含めたPNF(Proprioceptive Neuromuscular Facilitation)ストレッチングなどに大別される。この中で、ウォーミングアップにおいてスタティックストレッチングは最も一般的である(37)。ストレッチングに関しては多くの人がすでに現場で実践しており、現在はインターネットなどで情報を簡単に手に入れることができる一方で、関連の学術論文を読むことから情報を得ることは比較的難しいと思われる。そこで本稿では、研究で明らかになっていることを中心に、科学的根拠に基づいたスタティックストレッチングについて、スポーツ現場で処方するために必要な情報を紹介する。

2. ウォーミングアップにスタティックストレッチングは有害?

筆者が知るかぎり、2011年のBehmらのレビュー(4)において、スタティックストレッチングによる筋力やパフォーマンスの低下が指摘されて以降、ウォーミングアップからこれを取り除く傾向が進んでいると感じられる。その後の研究でも同様の結果が言及されており、30～45秒以上のスタティックストレッチングは、筋力低下・パフォーマンス低下を引き起こすことが述べられている(4,35)。裏を返せば、それよりも短い時間でのスタティックストレッチングでは筋力やパフォーマンスの低下を引き起こしにくいいため、ウォーミングアップに導入しても問題は少ないと考えられる。また、表1に示すとおり、筋力や筋パワーという単関節での運動を評価する場合にはネガティブな効果が大きく認められているが、複合的な関節運動が伴うジャンプやスプリント動作については、あまりネガティブな効果は認められていない。加えて、多くの研究では、純粹にスタティックストレッチングを行なった直後の筋力・パフォーマンスの測定を

行なっているが、スポーツ現場ではそのほかのルーティン、例えばジョギングやダッシュなどと一緒にこなすことが多いと考えられる。これに関連して、筆者らによる研究では、スタティックストレッチングの後に有酸素系のウォーミングアップ(38)やフォームローリング介入(33)を行なうことで、筋力低下から回復することを明らかにしている。さらに5分間という長い時間のスタティックストレッチングを行なった場合においても、生じた筋力低下は10分後には回復することが報告されている(19)。そのため、競技直前に長時間のスタティックストレッチングを行なうことは避けるほうがよさそうであるが、ウォーミングアップからスタティックストレッチングを排除する必要があるのかについては疑問が残る。

また、レジスタンストレーニング直前におけるスタティックストレッチングの効果については、80% 1RMで最大反復回数を実施する際、ストレッチングを事前に行なうことで、回数が18%減ることが報告されている(3)。一方、トレーニングにおけるセット間の休憩

表1 スタティックストレッチング時間と各項目の変化率と効果量(文献4を改変引用)

ストレッチング時間	筋力・筋パワー		ジャンプ高		スプリントスピード	
	変化率(%)	効果量	変化率(%)	効果量	変化率(%)	効果量
0～30秒	-0.5	0.004	-0.8	0.08	-1.3	0.25
30～90秒	-4.7	0.62	-1.2	0.14	-0.9	0.29
90秒以上	-5.9	0.61	-3.3	0.27	-0.7	0.08

効果量：0.4以下は小さい、0.41～0.7が中程度、0.7以上が大きいと定義

中にスタティックストレッチングを行なうことの有用性についての研究では、ストレッチングを行なうことでの筋力増加効果を増加させること(31,44)や、筋肥大効果を大きくすることが報告されている(6,44)。現在では、トレーニングとスタティックストレッチングとの相乗効果については十分な研究が進んでいる段階ではないが、例えばベンチプレスを実施する際、セット間の休憩時間に大胸筋をストレッチングしてから次のセットに望むというトレーニングは、筋力増加・筋肥大効果を促す可能性はあっても、損なうことはないような結果となっているため、積極的に取り組むことができると思われる。そのため、これまでスポーツ現場やトレーニング現場でスタティックストレッチングを行なうことにあまり積極的ではなかった人々も、安心して実施できると思われる。

3. そもそも柔軟性とは？

これまでストレッチングが筋力・パフォーマンスに及ぼす効果やレジスタンストレーニングとの併用効果について紹介したが、ストレッチング、特にスタティックストレッチングの主な目的は、関節や筋の柔軟性を改善することである。実際に、身体が硬い選手はけがをしやすいなどの印象をもっている指導者が多いが、本稿は傷害予防に関するものではなく、純粋に柔軟性の改善効果について言及する。

そもそも身体の柔らかさについては様々な表現が用いられている。柔軟性という用語を英語にすると、

“flexibility”が一般的である。一方では、“compliance”という用語も用いられるし、硬さを表現する場合には“stiffness”や“hardness”、伸びにくさを表現する“tightness”という用語もある。これらの用語はすべて柔軟性や硬さ、伸びにくさを表すものであり、様々な場面で用いられている。実際に関節の動く範囲、例えば、長座体前屈や下肢伸展挙上(SLR)テストなどで柔軟性を測定し、スタティックストレッチングを行なって、その効果を検証することは多く行なわれている。長座体前屈やSLRテストの結果が小さい(悪い)場合、筋が硬い、またストレッチング介入によりその数値が改善した場合、筋が柔らかくなったという認識をもちがちであるが、研究分野では、その点は異なることが明らかになっている。実際に柔軟性を測定する場合、動かされているヒトの感覚が大きく影響している可能性もある。例えば、まだ十分に伸ばしていないと感じているにもかかわらず、伸張感や痛みを訴える者もいれば、結構な伸張感(抵抗)を感じているにもかかわらず、グイグイと動かすことができる者もいる。これらの違いは、筋の特性というよりも、被験者の伸張(ストレッチング)に対する耐性(慣れ)の要素がかかわっていることが指摘されており、これを研究領域では“stretch tolerance”という表現を用いて説明している。以上のことから、興味深いことに、ストレッチング介入によって起こった関節における柔軟性の変化は、筋における柔軟性の変化と等しいわけではなく、感覚的な変化

も含まれているといえる(17,48)。よって以下では、関節の柔軟性と筋の柔軟性の変化に関して、個別に必要なスタティックストレッチングについて説明をしていく。

関節の柔軟性を増加させるためのスタティックストレッチングについて

スタティックストレッチングを行なった後に関節の柔軟性(関節の可動域など)が増加することは経験的にわかっている事実ではあるが、ここではどの程度の時間および期間のスタティックストレッチングを行なう必要があるのかについて紹介する。スタティックストレッチングの効果に関する研究では、一回の効果を検討した即時効果と、定期的な介入の効果を検討した長期介入効果の両方がある。本稿では、後者の長期介入効果について紹介をする。

若年者を対象としたBandyらの研究(2)では、ハムストリングスが硬い若年者(21～37歳)の男女を対象に、1日当たり15、30、60秒のいずれかのストレッチング時間を週5回、6週間行なった。その結果、15秒のストレッチング時間はストレッチングを行っていない条件と有意な差が認められず、著者らは15秒間のスタティックストレッチングを行なうのは関節の柔軟性改善効果が認められないため、時間の無駄になるかもしれないと述べている(図1)。また面白いことに、30秒および60秒間のストレッチング時間を比較すると、両者ともに関節可動域の改善効果がみられたものの、その変化量

に関しては有意な差が認められていない。よって時間効率を考えると、30秒間(週5回の頻度)のストレッチング時間を推奨することが述べられている。

また、ストレッチング処方を見みると、30秒間ストレッチングし続けるのがよいのか、それとも同じ30秒でも10秒を3回、もしくは15秒を2回でも同様の効果があるのかという疑問が残る。この疑問に関して、Johnsonら(12)は、18～25歳のハムストリングスの硬い被験者を対象に、1日のストレッチング時間を90秒に統一した条件で、10秒のストレッチングを9回行なう群と30秒のストレッチングを3回行なう群を設けた。両群とも合計で90秒のストレッチングを週6回、6週間行なった結果、いずれの群も柔軟性の改善は認められ、その効果に違いはなかった。この結果から、トータルの時間を担保できれば、1回のストレッチング時間は少なくとも問題がないということがわかっている。

さらに興味深いことに、ストレッチング全体の時間での効果に関する検討もされている。ここで、トレーニングボリュームという言葉は読者の多くにとって聞き馴染みがあると思われるが、ストレッチングでも同様に、1回のストレッチング時間×頻度(週に何回等)×介入期間で、ストレッチング総時間数を計算することができる(トレーニングの場合はトレーニング強度も加味されるが、ストレッチングの分野ではまだその点まで研究が進んでいない)。

Medeirosらの研究(15)では、足関節に着目した研究をまとめたレビュー論文において、総時間が3,000秒以下、3,000～5,000秒、5,000秒以上で分けて検討したところ、3,000秒以下で関節可動域の5.41°の改善、3,000～5,000秒で4.99°の改善、5,000秒以上で5.31°の改善効果があることが明らかになった。これらの結果より、ストレッチ

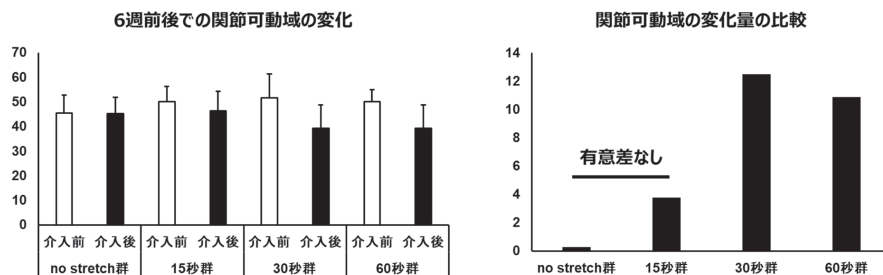


図1 6週間のスタティックストレッチング介入前後の関節の可動域の結果(左図)と変化量(右図)
15秒のストレッチング時間では、ストレッチングを行なわない条件と有意差が認められない(文献2より改変引用)

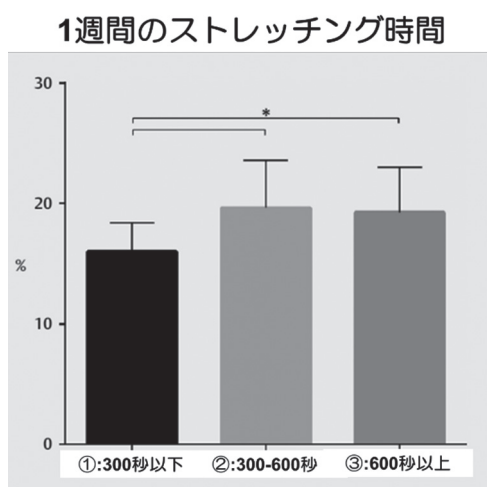


図2 1週間の総ストレッチング時間による関節可動域の変化率(%)の比較
300秒以下と比較して、300～600秒および600秒以上の総ストレッチング時間のほうが有意に大きな関節可動域の改善率を示している(文献42を改変引用)

グ時間はある程度必要であるものの、長くすればするほど大きな改善効果があるわけではないようである。

また、Thomasらの研究(42)では、1週間の総ストレッチング時間(図2)について詳細な比較を行なっている。具体的には、1週間の総ストレッチング時間を①300秒以下、②300～600秒、③600秒以上で分けて比較している。図2に示すとおり、①と比較して、②と③において大きな柔軟性の改善が認められている。興味深いことに、1回のストレッチング時間についても詳細に検討されているが、1週間の総ストレッチング時間が担保されていれば、1回のストレッチング時間についてはあまり重要ではないという結果となっている。

以上の研究結果より、1回のストレッチング時間にこだわるよりも、1週間での程度ストレッチングを行なったのかということが重要であり、1週間で最低300秒(5分間)のストレッチングを行なうことが推奨される。ただ、注意しなくてはならない点として、これらの研究結果はスタティックストレッチングだけのデータではなく、その他のストレッチング介入法も含まれているため、成果をスタティックストレッチングで完全に読み替えることができるかは不明である。とはいえ、現場で応用するには良い示唆が含まれていると考えられる。すなわち、これらの結果より、ストレッチング時間を長くすると悪影響はないが、短すぎると十分な

柔軟性改善効果が得られず、その最低限の線引きが“1週間で300秒以上”のラインとなってくる可能性が考えられるということである。

以上の情報では、ストレッチングの1回の時間よりも総ストレッチング時間が重要であることが示されているが、さらに、どれくらいの頻度(つまり週何回)でストレッチングを行なえばよいのかという点についても研究がなされている(28)。この研究では、1週間のストレッチング時間を360秒として、1日120秒のスタティックストレッチングを週3回行なう群と1日360秒のスタティックストレッチングを週1回行なう群で検討している。その結果、週1回だけまとめて360秒行なう群では関節の柔軟性の変化は認められず、週3回でスタティックストレッチングを行なった群のみ有意な関節の柔軟性の改善効果があった。このことから、1週間の総ストレッチング時間は重要な情報ではあるものの、それをまとめて一気に済ませてしまえばよいというわけではなく、一定の頻度で実施する必要があるということがわかっている(継続は力なり、ということである)。

筋の柔軟性を増加させるための

スタティックストレッチングについて

前項では、関節の柔軟性を増加させるためのスタティックストレッチングプロトコルについて議論を行ってきた。ここでは、筋の柔軟性(硬度)についてスタティックストレッチングが及ぼす効果についての研究を紹介する。結論から言えば、スタティックストレッチングにより、筋の柔軟性は改善するものの、関節の柔軟性よりも長い時間の実施が必要で、なおかつ、元に戻る時間は早いという結論になっている。

Mizunoら(17,18)は、下腿三頭筋を対象に、300秒間のスタティックスト

レッチングの効果を検証した。その結果、スタティックストレッチング直後に関節の柔軟性は増加し、筋の硬度は減少、つまり筋の柔軟性は増加するという結果となった。これを踏まえると、関節の柔軟性と筋の柔軟性は同じような変化をすると捉えられるかと思われるが、興味深いことに、関節可動域の増加効果は30分後まで持続したのにもかかわらず、筋の柔軟性の変化は10分後にはなくなり、元の硬さと同じ程度まで戻ってしまうことが明らかとなっている。

また、我々の研究では、腓腹筋の柔軟性を増加させるために必要なストレッチング時間は120秒(21)、ハムストリングスであれば180秒必要であることも明らかとなっており(26)、関節の柔軟性を増加させるストレッチング時間よりも非常に長い時間が必要であることがわかっている。そのため、関節の柔軟性のみを増加させることが目的であれば、前述した30秒のストレッチング時間を採用すればよいが、筋の柔軟性を増加させることを目的とする場合、それよりも長い時間のストレッチング時間が必要であることが考えられる。また、関節の柔軟性の増加=筋の柔軟性の増加ではなく、感覚的な変化(stretch tolerance)が大きく影響しているため、筋の柔軟性の変化を念頭に置いた場合、関節の柔軟性が改善した段階でストレッチングを終了するのではなく、もう少し入念にストレッチングをする必要があると思われる。

ここで、少し踏み込んだ話ではあるが、いわゆるアキレス腱を伸ばす方法として下腿三頭筋全体をスタティックストレッチングした場合、下腿三頭筋を構成する内側腓腹筋や外側腓腹筋の筋硬度は減少するという報告(24,41)や、ヒラメ筋やアキレス腱の硬さは変化しないという報告があり(10)、同じ作用をもつ筋でもストレッチングの効果が異なる可能性がある。また、ハム

ストリングスに対するスタティックストレッチングの効果も興味深い結果が得られている。Umegakiらの研究(43)では、300秒間のスタティックストレッチング介入の効果をハムストリングス構成筋ごと(大腿二頭筋長頭、半腱様筋、半膜様筋)に分けて検討した。その結果、すべての筋の硬さは減少したが、その中でも半膜様筋の筋硬度の減少が一番大きい結果となった。また、Ichihashiらの研究(11)においても、1回のスタティックストレッチング介入の効果を発展させ、1回300秒のスタティックストレッチングを週3回、4週間行なった結果、Umegakiらの研究と同じくすべてのハムストリングスを構成する筋の硬さは減少し、特に半膜様筋における筋硬度の減少効果が一番大きい結果となった。この理由としては、ストレッチング中の筋の張力を検討した報告(22)において、大腿二頭筋長頭や半腱様筋と比較して半膜様筋にかかる張力が大きいことが原因ではないかと考えられている。また、ハムストリングスを対象としたストレッチングの研究として、Miyamotoら(16)は、ハムストリングスが股関節の伸展、膝関節の屈曲作用を有する筋であることに着目し、膝を伸ばした状態で股関節を屈曲するストレッチングと股関節を屈曲した状態で膝関節を伸展するストレッチング介入の効果を比較した。その結果、特に大腿二頭筋長頭は、股関節屈曲状態から膝関節を伸展させるストレッチングのみで筋硬度が減少することが明らかとなった。既知のとおり、大腿二頭筋は肉離れを生じやすい筋のひとつであるため、その予防・治療法としてスタティックストレッチングを行なう場合のヒントになる結果だと思われる。また、大腿四頭筋を対象としたスタティックストレッチング介入を検討した報告(27,40,50)においても、股関節伸展と膝関節屈曲方向へのスタティックストレッチング介入により、

大腿直筋の筋硬度は減少するが、その他の外側広筋、内側広筋は変化しないという報告もある。まだまだこのような研究は始まったばかりで、今後、様々な筋を対象にスタティックストレッチング介入の効果を調べた研究が出てくるはずである。

長期介入効果に関して、定期的なスタティックストレッチング介入を行なうことによる筋の柔軟性に対する影響についての研究を紹介する。定期的なスタティックストレッチング介入における筋の柔軟性への影響を検討した研究は、関節の柔軟性に及ぼす効果の研究よりも数は少ないものの、定期的なスタティックストレッチング介入により筋の柔軟性が増加することが示されている(5,14,20)。また、前述の介入頻度(つまり週何回等)についての研究(28)でも、週1回だけ360秒行なう群では筋の柔軟性の変化は認められず、週3回でスタティックストレッチングを行なった群のみ有意な筋の柔軟性の改善効果があることがわかっている。また興味深いことに、スタティックストレッチング介入における関節の柔軟性と筋の柔軟性の変化についてどのタイミングで変化するのかを検討した研究(23)によれば、関節の柔軟性における増加のほうが筋の柔軟性における変化よりも早期に起こることが明らかになっている。これらから、前述のように筋の柔軟性が改善するには時間が必要であり、定期的な介入でも同様に時間がかかるため、ある程度、長い時間・期間を設定する必要があると考えられる。残念ながら、まだ長期的なスタティックストレッチング介入効果に関する研究が少ないため、どのくらいの時間や介入期間が必要なのかについては不明な点が多く、今後の研究の発展が期待される。

4. ストレッチングの強さはどの程度にすればよいのか？

ストレッチングの強度に関しては、処方する上ではなかなか難しい問題である。本稿では具体的に、痛みを含んだスタティックストレッチングの是非について述べていきたい。

現場では、痛みがありながらもしっかりと伸ばすことが推奨されているような印象がある。実際には、強すぎるストレッチングでは筋損傷のリスクが一部指摘されているものの(1)、全体として痛みの伴わない「痛気持ちよい」という強度よりも強いストレッチングのほうが、関節の柔軟性および筋の柔軟性の増加効果が大きいことが示されている(7,9,30,39)。ここで、高強度ストレッチングには痛みが伴うという問題がある。この痛みを許容できるのかどうかという点について、ストレッチングによって生じる痛みは、繰り返し行なうことで徐々に身体が慣れてくることもあるし、その前にウォーミングアップを行なうことで痛みの感じ方が減少することが報告されている(8,36)。また、ウォーミングアップの中には実際に運動するのではなく、温浴(36)やホットパック(8,32)を行なう方法もあり、これによりストレッチング中の痛みの感受性が変化することが報告されているため、より強い強度でのストレッチングを痛みが少ない状態でできる可能性がある。そのため、風呂上りにストレッチングを行なうことを推奨するということは、ストレッチングに伴う痛みを減らす可能性があり、いつも以上に強い強度でのストレッチングが可能かもしれず、理に適っていると思われる。ストレッチングの痛みを緩和することはストレッチングを継続する上では重要と考えられ、指導する際の参考になる。また、対象の部位を温めるだけではなく、冷やすことでもストレッチングで生じるような痛みを軽減することもわかっている(25)。そ

のため、痛みが強い状態などであれば、アイシングを使用するというのも考えてみてもよいかもしれない。

5. ストレッチングにより筋肥大効果はあるのか？

レジスタンストレーニングとスタティックストレッチングを同時に行なうことの是非については前述のとおりであるが、スタティックストレッチング介入だけで筋肥大効果があるのか、ということも研究が進んでいる。レジスタンストレーニングよりもストレッチングは身体的に楽なので、もしスタティックストレッチングだけで筋肥大効果があれば、筋肥大が比較的容易になるわけだが、残念ながら、通常のスタティックストレッチング介入では筋力増加・筋肥大効果は難しいことが示されている(34)。また、通常よりも高い強度でのスタティックストレッチング介入においても、残念ながら筋力増強・筋肥大効果はないことが示されている(30)。ただし1日に30分(49)や60分(45)、120分間(46)という長時間のスタティックストレッチングを行なう場合、筋力増強や筋肥大効果が得られる可能性が示されている。ただ、これだけのスタティックストレッチングを実施する時間があるのならば、レジスタンストレーニングに時間を割いたほうが効率的である可能性も考えられる。

しかし興味深いことに、笠原らの研究(13)では、レジスタンストレーニング後のデイトレーニング(トレーニングの休止期間)期間中におけるスタティックストレッチング介入の効果を検討している。その結果、デイトレーニングにより筋量は減少するものの、スタティックストレッチング介入を行なうことで、筋量の減少の抑制効果、つまり筋が萎縮しにくかったという効果が認められている。コロナ禍のような急激に身体活動が減少せざるをえない状況において、レジスタンストレーニ

ングを継続することが難しい場合、スタティックストレッチング介入を行なうことで筋力やジャンプパフォーマンスを改善させることが可能であることがわかった(47)。以上のことから、筋力増加や筋肥大効果を期待することは通常のスタティックストレッチング介入では難しいと考えられるが、レジスタンストレーニングを実施できない状況、例えば傷害や時間的・環境的要因でできない場合、少なくともスタティックストレッチング介入を続けておくことは、筋力や筋量を維持することに有効である可能性が考えられ、レジスタンストレーニングとは別にスタティックストレッチング介入を行なうことを推奨できるであろう。

6. ストレッチングを現場に応用するための提言

本稿では、ストレッチングに関する研究成果を中心に紹介した。レジスタンストレーニングのように変数を明確にして推奨できるストレッチングプログラムを提案できればよいが、現状ではなかなか難しい。しかし諸研究をまとめて考えれば、1つの関節について少なくとも1週間当たり300秒のストレッチング時間を担保しつつ、週3回以上の頻度で実施することが推奨される。また、強度としては可能な範囲で高い強度にて行なうこと、結果が出るまで時間がかかるので、少なくとも2週間以上の期間を設けることが推奨される。さらに、トレーニングと同様に、ストレッチング効果にもディトレーニング効果があることが報告されており(29)、ストレッチング介入時間と同じ期間中断すると、関節や筋の柔軟性は元に戻ってしまう可能性がある。何事も継続は力なりで、続けることが大事である。ストレッチングは、レジスタンストレーニングや競技練習ほどは変化が見えにくいですが、継続実施により柔軟性の高い身体を手に入れて

もらえれば幸いである。また、今回紹介した文献を含め、スタティックストレッチングに関する研究が基となって現場で応用される形になることが望ましい。◆

参考文献

1. Apostolopoulos N., Metsios G.S., Flouris A.D., Koutedakis Y., Wyon M.A. The relevance of stretch intensity and position-a systematic review. *Front psychol* 6, 1128, 2015.
2. Bandy W.D., Irion J.M. The effect of time on static stretch on the flexibility of the hamstring muscles. *Phys Ther* 74, 845-850; discussion 850-842, 1994.
3. Barroso R., Tricoli V., Santos Gil S.D., Ugrinowitsch C., Roschel H. Maximal strength, number of repetitions, and total volume are differently affected by static, ballistic, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching. *J Strength Cond Res* 26, 2432-2437, 2012.
4. Behm D.G., Chaouachi A. A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *Eur J Appl Physiol* 111, 2633-2651, 2011.
5. Blazevich A.J., Cannavan D., Waugh C.M., Miller S.C., Thorlund J.B., Aagaard P., Kay A.D. Range of motion, neuromechanical, and architectural adaptations to plantar flexor stretch training in humans. *J Appl Physiol* (Bethesda, Md. : 1985) 117, 452-462, 2014.
6. Evangelista A.L., De Souza E.O., Moreira D.C.B., Alonso A.C., Teixeira C.V.S., Wadhi T., Rauch J., Bocalini D.S., Pereira P.E.A., Greve J.M.D. Interset Stretching vs. Traditional Strength Training: Effects on Muscle Strength and Size in Untrained Individuals. *J Strength Cond Res* 33 Suppl 1, S159-s166, 2019.
7. 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* 11, 601912, 2020.
8. 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 Sports Rehab* 27, 66-72, 2018.
9. Hatano G., Matsuo S., Asai Y., Suzuki S., Iwata M. Effects of High-Intensity Stretch with Moderate Pain and Maximal Intensity Stretch without Pain on Flexibility. *J Sports Sci Med* 21, 171-181, 2022.
10. Hirata K., Miyamoto-Mikami E., Kanehisa H.,

Miyamoto N. Muscle-specific acute changes in passive stiffness of human triceps surae after stretching. *Eur J Appl Physiol* 116, 911-918, 2016.

11. 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* 34, 2155-2159, 2016.
12. Johnson A.W., Mitchell U.H., Meek K., Feland J.B. Hamstring flexibility increases the same with 3 or 9 repetitions of stretching held for a total time of 90 s. *Phys Ther Sport : official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine* 15, 101-105, 2014.
13. 笠原 政志, 山本 利春, 川原 貴. デイトレーニング中のストレッチングが筋量に及ぼす影響. *体力科学* 59, 541-548, 2010.
14. Longo S., Cè E., Bisconti A.V., Rampichini S., Doria C., Borrelli M., Limonta E., Coratella G., Esposito F. The effects of 12 weeks of static stretch training on the functional, mechanical, and architectural characteristics of the triceps surae muscle-tendon complex. *Eur J Appl Physiol* 2021.
15. Medeiros D.M., Martini T.F. Chronic effect of different types of stretching on ankle dorsiflexion range of motion: Systematic review and meta-analysis. *Foot (Edinburgh, Scotland)* 34, 28-35, 2018.
16. Miyamoto N., Hirata K., Kanehisa H. Effects of hamstring stretching on passive muscle stiffness vary between hip flexion and knee extension maneuvers. *Scand J med sci sports* 27, 99-106, 2017.
17. Mizuno T., Matsumoto M., Umemura Y. Viscoelasticity of the muscle-tendon unit is returned more rapidly than range of motion after stretching. *Scand J med sci sports* 23, 23-30, 2013.
18. Mizuno T., Matsumoto M., Umemura Y. Decrements in stiffness are restored within 10 min. *Int J Sports Med* 34, 484-490, 2013.
19. Mizuno T., Matsumoto M., Umemura Y. Stretching-induced deficit of maximal isometric torque is restored within 10 minutes. *J Strength Cond Res* 28, 147-153, 2014.
20. Nakamura M., Ikezoe T., Takeno Y., Ichihashi N. Effects of a 4-week static stretch training program on passive stiffness of human gastrocnemius muscle-tendon unit in vivo. *Eur J Appl Physiol* 112, 2749-2755, 2012.
21. Nakamura M., Ikezoe T., Takeno Y., Ichihashi N. Time course of changes in passive properties of the gastrocnemius muscle-tendon unit during 5 min of static stretching. *Man Ther* 18, 211-215, 2013.
22. 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* 24, 1-6, 2016.
23. 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* 26, 263-268, 2017.
24. 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* 32, 98-103, 2017.
25. Nakamura M., Hirabayashi R., Ohya S., Aoki T., Suzuki D., Shimamoto M., Kikumoto T., Ito W., Nakamura E., Takabayashi T., et al. Effect of Static Stretching with Superficial Cooling on Muscle Stiffness. *Sports Med Int Open* 2, E142-e147, 2018.
26. Nakamura M., Ikezoe T., Nishishita S., Tanaka H., Umehara J., Ichihashi N. Static stretching duration needed to decrease passive stiffness of hamstring muscle-tendon unit. *J Sports Med Phys Fitness* 8, 113-116, 2019.
27. 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* 11, 628870, 2020.
28. Nakamura M., Sato S., Hiraizumi K., Kiyono R., Fukaya T., Nishishita S. Effects of static stretching programs performed at different volume-equated weekly frequencies on passive properties of muscle-tendon unit. *J Biomechanic* 103, 109670, 2020.
29. Nakamura M., Yahata K., Sato S., Kiyono R., Yoshida R., Fukaya T., Nunes J.P., Konrad A. Training and Detraining Effects Following a Static Stretching Program on Medial Gastrocnemius Passive Properties. *Front Physiol* 12, 656579, 2021.
30. Nakamura M., Yoshida R., Sato S., Yahata K., Murakami Y., Kasahara K., Fukaya T., Takeuchi K., Nunes J.P., Konrad A. Comparison Between High- and Low-Intensity Static Stretching Training Program on Active and Passive Properties of Plantar Flexors. *Front Physiol* 12, 796497, 2021.
31. Nakamura M., Ikezu H., Sato S., Yahata K., Kiyono R., Yoshida R., Takeuchi K., Nunes J.P. Effects of Adding Inter-Set Static Stretching to Flywheel Resistance Training on Flexibility, Muscular Strength, and Regional Hypertrophy in Young Men. *Int J Environ Res Public Health* 18, 2021.
32. Nakamura M., Sato S., Sanuki F., Murakami Y., Kiyono R., Yahata K., Yoshida R., Fukaya T., Takeuchi K. Effects of hot pack application before high-intensity stretching on the quadriceps muscle. *Int J Ther Rehabil* 28, 2021.
33. Nakamura M., Konrad A., Kasahara K., Yoshida R., Murakami Y., Sato S., Aizawa K., Koizumi R., Wilke J. The Combined Effect of Static Stretching and Foam Rolling With or Without Vibration on the Range of Motion, Muscle Performance, and Tissue Hardness of the Knee Extensor. *J Strength Cond Res* 2022.
34. Nunes J.P., Schoenfeld B.J., Nakamura M., Ribeiro A.S., Cunha P.M., Cyrino E.S. Does stretch training induce muscle hypertrophy in humans? A review of the literature. *Clin Physiol Funct Imaging* 40, 148-156, 2020.
35. Simic L., Sarabon N., Markovic G. Does pre-exercise static stretching inhibit maximal muscular performance? A meta-analytical review. *Scand J Med Sci Sports* 23, 131-148, 2013.
36. Takeuchi K., Takemura M., Nakamura M., Tsukuda F., Miyakawa S. Effects of Active and Passive Warm-ups on Range of Motion, Strength, and Muscle Passive Properties in Ankle Plantarflexor Muscles. *J Strength Cond Res* 2018.
37. Takeuchi K., Nakamura M., Kakihana H., Tsukuda F. A Survey of Static and Dynamic Stretching Protocol. *Int J Sport Health Sci* 17, 72-79, 2019.
38. Takeuchi K., Nakamura M. Influence of Aerobic Exercise After Static Stretching on Flexibility and Strength in Plantar Flexor Muscles. *Front Physiol* 11, 612967, 2020.
39. Takeuchi K., Akizuki K., Nakamura M. The acute effects of high-intensity jack-knife stretching on the flexibility of the hamstrings. *Sci Rep* 11, 12115, 2021.
40. 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* 12, 2021.
41. Taniguchi K., Shinohara M., Nozaki S., Katayose M. Acute decrease in the stiffness of resting muscle belly due to static stretching. *Scand J Med Sci Sports* 25, 32-40, 2015.
42. Thomas E., Bianco A., Paoli A., Palma A. The Relation Between Stretching Typology and Stretching Duration: The Effects on Range of Motion. *Int J Sports Med* 39, 243-254, 2018.
43. 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* 20, 610-613, 2015.
44. Van Every D.W., Coleman M., Rosa A., Zambrano H., Plotkin D., Torres X., Mercado M., De Souza E.O., Alto A., Oberlin D.J., et al. Loaded inter-set stretch may selectively enhance muscular adaptations of the plantar flexors. *PLoS one* 17, e0273451, 2022.
45. Warneke K., Brinkmann A., Hillebrecht M., Schiemann S. Influence of Long-Lasting Static Stretching on Maximal Strength, Muscle Thickness and Flexibility. *Front Physiol* 13, 878955, 2022.
46. Warneke K., Keiner M., Hillebrecht M., Schiemann S. Influence of One Hour versus Two Hours of Daily Static Stretching for Six Weeks Using a Calf-Muscle-Stretching Orthosis on Maximal Strength. *Int J Environ Res Public Health* 19, 2022.
47. Warneke K., Konrad A., Keiner M., Zech A., Nakamura M., Hillerbrecht M., Behm D. Using Daily Stretching to Counteract Performance Decreases as a Result of Reduced Physical Activity – A Controlled Trial. *Int J Environ Res Public Health*. 2022, in press.
48. Weppeler C.H., Magnusson S.P. Increasing muscle extensibility: a matter of increasing length or modifying sensation? *Phys Ther* 90, 438-449, 2010.
49. Yahata K., Konrad A., Sato S., Kiyono R., Yoshida R., Fukaya T., Nunes J.P., Nakamura M. Effects of a high-volume static stretching programme on plantar-flexor muscle strength and architecture. *Eur J Appl Physiol* 121, 1159-1166, 2021.
50. Zhu Y., Feng Y., Huang F., Li Y., Wang W., Wang X., Cao X., Zhang Z. Changes in stiffness of the specific regions of knee extensor mechanism after static stretching. *Front Bioeng Biotechnol* 10, 958242, 2022.

著者紹介



中村 雅俊
 博士(人間健康科学)、西九州大学リハビリテーション学部リハビリテーション学科 理学療法専攻 准教授。専門分野はトレーニング科学、運動生理学、主な研究テーマはストレッチに関する研究、レジスタンストレーニングに関する研究(特に伸張性収縮に着目した研究)、超音波画像診断装置を用いた筋腱評価に関する研究など。