札幌保健科学雑誌　第８号　13－20（2019）

原　著

ジャックナイフストレッチングの即時効果
－脊柱屈曲可動域およびハムストリングスの弾性率に着目して－

中尾学人[1, 2]，山根裕司[1, 3]，谷口圭吾[4]，片寄正樹[4]

[1] 札幌医科大学大学院保健医療学研究科
[2] Foundation for Rural Integrated Enterprises & Development (FRIEND), Lautoka, Fiji
[3] 北海道医療大学リハビリテーション科学部理学療法学科
[4] 札幌医科大学保健医療学部理学療法学科

本研究の目的は，ジャックナイフストレッチングの即時効果を脊柱屈曲可動域およびハムストリングスの弾性率に着目して検証することとした．健常男性15名を対象とし，異なる2つの条件（ストレッチング実施条件，コントロール条件）において，立位体前屈における指床間距離（FFD），脊柱屈曲可動域（胸椎，腰椎，骨盤前傾），ハムストリングスの弾性率（大腿二頭筋長頭，半腱様筋，半膜様筋）を条件の前後に測定した．その結果，ストレッチング介入条件では，FFDおよび骨盤前傾可動域は，ストレッチング後に有意に増大し（$p < 0.01$），ハムストリングスの弾性率は，ストレッチング後に全ての筋で有意に低い値を示した（$p < 0.01$）．このことから，ジャックナイフストレッチングによりハムストリングスの弾性率が低下することが明らかとなり，FFDの増大および骨盤前傾可動域の増大は，ハムストリングスの弾性低下に起因した可能性が示唆された．

キーワード：ストレッチング，柔軟性，指床間距離，スパイナルマウス，超音波剪断波エラストグラフィ

Acute effect of jack-knife stretching: Focusing on spine flexion range of motion and shear elastic modulus of hamstring muscles

Gakuto NAKAO[1, 2], Yuji YAMANE[1, 3], Keigo TANIGUCHI[4], Masaki KATAYOSE[4]

[1] Graduate School of Health Sciences, Sapporo Medical University
[2] Foundation for Rural Integrated Enterprises & Development (FRIEND), Lautoka, Fiji
[3] Department of Physical Therapy, School of Rehabilitation Sciences, Health Sciences University of Hokkaido
[4] Second Division of Physical Therapy, School of Health Sciences, Sapporo Medical University

The purpose of this study was to investigate the acute effect of jack-knife stretching, with focus on spine flexion range of motion and the shear elastic modulus of hamstring muscles. Fifteen healthy male subjects were measured under two different conditions (stretching condition, control condition). The finger-to-floor distance (FFD), the shear elastic modulus (biceps femoris long head, semitendinosus, semimembranosus), and spine flexion range of motion (thoracic angle, lumbar angle, pelvic angle) were measured and compared before and after stretching. The FFD and anterior pelvic tilt increased significantly after stretching ($p < 0.01$) and the shear elastic modulus of the hamstring was significantly decreased in all muscles after stretching ($p < 0.01$). This study revealed that the shear elastic modulus of the hamstring is decreased by jack-knife stretching. Furthermore, the increase in FFD and anterior pelvic tilt may be due to a decrease in the shear elastic modulus of the hamstring.

Key words: stretching, flexibility, finger-to-floor distance, spinal mouse, shear wave elastography

Sapporo J. Health Sci. 8:13-20(2019)
DOI:10. 15114/sjhs. 8. 13

受付日：2018年10月１日　　受理日：2019年１月15日
＜連絡先＞　中尾学人：〒060-8556　札幌市中央区南1条西17丁目　札幌医科大学大学院保健医療学研究科

Ⅰ．背　　景

大腿二頭筋，半腱様筋，半膜様筋から構成されるハムストリングスは，膝関節屈曲および股関節伸展に作用する二関節筋であり，歩行動作や走行動作において重要な役割を担っている[1)]．ハムストリングスの機能障害が傷害発生に関与することが多く報告されており[2-7)]，その要因の一つに筋の柔軟性低下が挙げられている．筋の柔軟性は，一般的に負荷－伸長関係の傾きであるスティフネスで表される[8)]．筋腱複合体におけるスティフネスは，組織の粘弾性を反映する物性の指標とされており，負荷－伸長関係の傾きが緩やかな組織は，スティフネスが低い，すなわち柔軟性に富むことを意味している．ハムストリングスの柔軟性低下によって生じる代表的な障害として，肉離れ[2)]や腰痛[3,4)]がある．肉離れは，ハムストリングスに最も多く発生し，全力疾走中の遊脚期後半での受傷が多いことが報告されている[2,4-6)]．また，ハムストリングスの柔軟性低下によって体幹前屈動作時の股関節運動が制限され，腰椎の運動が代償的に大きくなることが，腰痛発生の要因の一つであると報告されている[3,4)]．このことから，ハムストリングスの柔軟性を改善させることは，肉離れや腰痛などの障害を予防するために重要であると考えられる．

ハムストリングスの柔軟性を改善させる方法として，ストレッチングが広く用いられている．ストレッチングには，スタティックストレッチング（Static Stretching：SS）やバリスティックストレッチング，ダイナミックストレッチング（Dynamic Stretching：DS），PNF（Proprioceptive Neuromuscular Facilitation：固有受容性神経筋促通法）ストレッチングなど様々な種類がある[7)]．ハムストリングスを伸長する手法の一つにジャックナイフストレッチング[9)]があり，スポーツ現場をはじめ，様々な場面で利用されている．このストレッチング法は，胸部を大腿部に密着させ，股関節を十分に屈曲させた状態から，大腿四頭筋の収縮を用い，膝関節を伸展させて行う手技[9,11)]であり，安全に，かつ他者の手を借りずに行うことが可能である．ストレッチングが柔軟性を改善させる機序はストレッチング方法によって異なっている．SSは筋の伸長からゴルジ腱器官による自原抑制（Ib抑制）を生じさせ，標的筋の運動ニューロンの興奮性を抑制することによって筋緊張を低下させることであり，DSは拮抗筋群の収縮により，相反抑制（Ia抑制）を生じさせ，標的筋の運動ニューロンの興奮性を抑制し，筋緊張を低下させることである[7)]．ジャックナイフストレッチングは，SSに相反抑制の原理を加えていることから，SSとDSの両者の特性を持ち合わせたストレッチング方法であり，ハムストリングスの柔軟性を高めるのに有用であるとSairyoら[9)]は述べている．

ジャックナイフストレッチングの効果に関していくつか報告されており，体幹前屈動作における指床間距離（Finger to Floor Distance：FFD）や骨盤前傾可動域は，ストレッチング直後および4週間の継続介入で増大したことが報告されている[9-11)]．また，腰部障害の人でも実施できるように，ジャックナイフストレッチングの方法を模したストレッチング機器が開発されており，その機器を用いた検証でHasebeら[11)]は上記と同様の効果が得られることを報告している．一方，ハムストリングスの柔軟性を反映する指標[7,9-13)]とされるFFDは，腰椎と骨盤の複合動作[3,12)]から得る距離であることから，ハムストリングス以外の要因によっても影響を受ける．井上ら[14)]は，体幹伸展筋群に対する相反抑制を用いたストレッチングを実施した結果，FFDの増大が認められたことを報告している．このことから，体幹筋に対するストレッチングによってもFFDが増大する可能性があると考えられる．ジャックナイフストレッチングは，胸腰椎を屈曲させ，胸部を大腿部に密着させる姿勢をとることから，胸腰椎の屈曲可動域の改善にも効果があり，ジャックナイフストレッチングによるFFDの改善は，胸腰椎の屈曲可動域の増大による可能性があると考えられる．しかし，ジャックナイフストレッチングが，胸腰椎の屈曲可動域を変化させるかどうかは明らかではない．また，FFDや骨盤前傾可動域は，ストレッチングによるハムストリングスの柔軟性の改善の指標[9-11,15)]として用いられているが，ハムストリングスの筋実質にどのような変化が生じているのかを評価することが困難という欠点がある．ジャックナイフストレッチングがハムストリングスの柔軟性を改善させる効果があるのかを明らかにするためには，ストレッチングによる筋実質への変化を測定できる方法での評価が必要であると考える．

これら評価法の欠点を補う指標として，超音波剪断波エラストグラフィを用いて算出された筋の弾性率が注目されている．伸長位の筋長や筋張力と弾性率の関係は高い相関関係にあり[16-18)]，弾性率が大きいということは，筋に生じている受動張力が大きい，すなわち筋が伸長されていることを意味している．このことは，筋の弾性変化が受動張力を推定する評価として有効であることを示唆している．Nakamuraら[19)]は，この弾性率を指標として，骨盤傾斜角度の違いがハムストリングスの弾性率に及ぼす差異を検討した結果，骨盤中間位，後傾位に比べて，骨盤前傾位でハムストリングスの弾性率が大きかったと報告した．また，Le Santら[22)]は，股関節屈曲角度および膝関節伸展角度の増大によりハムストリングスの弾性が大きくなったことを報告した．これらのことから，股関節屈曲角度や膝関節伸展角度，骨盤前傾角度の増大によってハムストリングスが伸長されることが明らかとなった．この弾性率を用いて，即時的および長期的なストレッチングの介入効果を検討した先行研究によると，股関節屈曲や膝関節伸展動作を伴ったストレッチングは，ハムストリングスの弾性低下に効果的であることが示された[23-26)]．しかし，ジャックナイフストレッチングが，筋実質の弾性特性に及ぼすストレッチン

グ効果は明らかにはなっていない．そこで，本研究では脊柱屈曲可動域およびハムストリングスの弾性率に着目して，ジャックナイフストレッチングの即時効果を検証することを目的とした．

Ⅱ．方　　法

1．対象者

対象は，健常男性15名（年齢：26.0 ± 5.4歳，身長：170.6 ± 3.4 cm，体重：65.6 ± 8.4 kg）とし，下肢に神経学的および整形外科的疾患を有さない者を包含基準とした．反復測定分散分析に要するサンプルサイズを見積もるため，効果量を0.3，検定力を0.85にて計算した結果，本研究において必要なサンプルサイズは14名以上必要であるとされた．また，対象は実験に先立ち，本研究の概要，目的および実験に伴う危険性について十分説明を受け，書面により同意を得た者とした．なお，本研究は，札幌医科大学倫理委員会による承認を得て実施した（承認番号：29-2-37）．

2．プロトコル

本研究はクロスオーバー・デザインであり，異なる2つの条件（ストレッチング実施条件，コントロール条件）において，立位体前屈におけるFFD，脊柱屈曲可動域（胸椎，腰椎，仙骨），ハムストリングスの弾性率（大腿二頭筋長頭，半腱様筋，半膜様筋）を条件の前後に測定した．ストレッチング実施条件とコントロール条件の測定間隔は一週間とした．

3．ジャックナイフストレッチング

ジャックナイフストレッチングの開始姿勢は，完全にしゃがみ，両手で踵を保持し体幹と大腿部の前面を密着させた姿勢とした（Figure 1）．密着させた大腿部と体幹を離さないように膝関節を最大努力で伸展させ，ハムストリングスに伸長痛が生じる直前を至適強度とし，その時点をストレッチングの開始時間とした．ストレッチング時間に関して，Sairyoら[9]は，25秒（5秒×5セット）を朝と夜の2回実施することを推奨している．本研究では，先行研究の結果と比較を可能にするために，ストレッチング時間は50秒（10秒×5セット）を1回実施することとし，ストレッチング時間を先行研究と同一にした．また，事前のストレッチングや運動の影響を排除するために，測定直前にストレッチングおよび運動を行わないよう指示した．コントロール条件に関しては，ストレッチングの開始姿勢を保持した状態で，ストレッチングを施行しなかった．

Figure 1. Jack-knife stretching posture
(left: starting position, right: stretching position)

4．FFDの測定

立位体前屈の開始姿勢は，高さ30 cmの測定台に乗ってもらい，5 cm程度足を開いた状態とした．測定は，両膝関節を伸展位に保持した状態で，反動をつけないように体幹を前屈させ，できる限り下まで届くように実施してもらった．指先の最下端と測定台の床面との距離をFFDとし，メジャーで測定した．測定値は，測定台の上面を0 cmとして両手の指先を揃えて最下端の位置を目盛りで読んだ．0 cmに達しない場合は，その距離をマイナス（－）で表記し，0.1 cm刻みで測定した．

5．胸椎・腰椎弯曲角度および骨盤前傾角度の測定

胸椎・腰椎弯曲角度および骨盤前傾角度は，脊椎計測分析機（スパイナルマウス，Index 社製）を用いて安静立位と立位体前屈位の2肢位で測定した．スパイナルマウスは，脊椎に沿って動かすことで，脊柱と骨盤の傾斜角度を計測できる装置であり，妥当性[20]および信頼性[21]が高いことが報告されている．はじめに，第7頚椎（C7）と第3仙椎（S3）を触診にて同定後，ペンでマーキングした．C7のマーキングした部位に本体のベースラインを合わせ，スパイナルマウスのトラッキングホイールをC7からS3までの脊柱傍線上に沿って一定の速度で動かし，C7からS3までの距離と傾斜角度を測定した．測定したデータより，専用のソフトウェアによって，各椎体の相対的位置関係が推定された．

胸椎弯曲角度は第1胸椎から第12胸椎まで，腰椎弯曲角度は第12胸椎から第1仙椎までの脊柱全体の弯曲を表す．得られた値は，角度が正であれば後弯（屈曲），負であれば前弯（伸展）を意味する．骨盤前傾角度は，仙骨によって描かれる背中表面の輪郭線が鉛直線に対して作る角度と定義されており，骨盤前傾角度が大きな正の値であれば前傾を意味しており，骨盤前傾角度が小さな正の値あるいは負の値であれば，骨盤が直立位にあることを意味する．全ての脊柱アライメントの測定は同一検者が行った．測定は2回実施し，その平均値を求めた．先行研究において，測定時に呼吸が胸椎アライメントに影響する可能性が指摘されていることから，測定は全て最大呼気時に実施した[20]．測定した弯曲角度から，前屈位と安静立位との弯曲角度の変化量【最大屈曲 － 安静立位】を求め，胸椎および腰椎

屈曲可動域と骨盤前傾可動域を算出し，脊柱屈曲可動域の指標とした．この屈曲可動域は，値が大きいほど胸腰椎の屈曲および仙骨の前傾が大きいことを示している．

6．弾性率の測定

弾性率の測定肢位は，股関節屈曲90度・膝関節屈曲45度とし，多用途筋機能評価運動装置（BIODEX system4. 酒井医療機器）のPassiveモードを用いて固定した．受動張力の測定において，本研究による測定肢位では，活動張力の影響は少ないと考えられる[22]．弾性率の測定には，超音波診断装置（Aixplorer Ver.6. MSK mode, SuperSonic Imagine 社製）に装備されている剪断波エラストグラフィ機能を用いた．超音波診断装置のリニアプローブ（SL15-4, 4-15 MHz，Supersonic imagine 社製）を用い，大腿二頭筋長頭，半膜様筋，半腱様筋を測定した．これらの筋に対して，測定前に触診および超音波診断装置の画像を確認することで，筋に異常がないことを確認した．画像が鮮明となるよう，プローブと皮膚の間に測定用ゲルを塗布し，プローブは体表に対し，垂直に置いた．また，プローブの接触強度は，筋形状に変化を及ぼさない最小かつ明瞭な画像を得られる強度とした．測定部位は，坐骨結節と腓骨頭の中点を大腿二頭筋長頭とし，坐骨結節と大腿骨内側顆の中点を半膜様筋，半腱様筋とした．半腱様筋と半膜様筋との区別は，短軸像で得られた半腱様筋を近位にたどり，腱画を確認することで同定した[27]．ストレッチング前後および一週間後の測定において、撮像部位を統一するために，撮像部位の皮膚上に油性ペンでランドマークを付け，一週間後にランドマークが残っていることを確認した．筋間の測定順序は，順序効果を排除するために，無作為な順番で測定を行った．

データ解析において，映し出された筋の画像内に設置した15 mm × 15 mmの正方形の関心領域（Region of interest：ROI）を筋線維が明瞭に描出されている表層腱膜と深層腱膜の中央（画像中央）にセットした．ROI内のなるべく均一な色彩で描出されている画像中心付近に直径10 mmの円領域を設定し，平均ヤング率（kPa）の測定を行った．等方性を仮定できる物体に対してはヤング率が適用され，筋組織のように異方性をもつ物体に対しては剪断弾性率を用いることが望ましいとされていることから，得られた平均ヤング率を3で除し，剪断弾性率（kPa）を算出した[26, 28]．その後，各筋における2回の剪断弾性率の平均値を解析に用いた．

7．統計学的解析

ジャックナイフストレッチングの介入効果の比較には，FFD，屈曲可動域（胸椎・腰屈曲可動域，骨盤前傾可動域），ハムストリングスの弾性率（大腿二頭筋長頭，半腱様筋，半膜様筋）に対して，介入（ストレッチング実施条件，コントロール条件）と時間（ストレッチング前，ストレッチング後）を要因とする2要因に対応のある反復測定分散分析を行った．交互作用が認められた場合，事後検定として単純主効果の検定を行なった．さらに，差の大きさを検討するための効果量として，反復測定分散分析においては偏イータ二乗（η_p^2）を，単純主効果検定においてはHedges’ g（= 平均値差 / プールされた標準偏差）をそれぞれ算出した．効果量の目安は，η_p^2が0.01から0.06は効果量小，0.06から0.14は効果量中，0.14以上は効果量大，Hedges’ g が0.2から0.5は効果量小，0.5から0.8は効果量中，0.8以上は効果量大と示されている[29]ことから，これらの目安を元に効果量を比較した．なお，統計処理には，SPSS software（Ver.22，IBM 社製）を使用し，統計学的有意水準は5%とした．結果は全て平均 ± 標準偏差にて表記した．

Ⅲ．結　　果

1．ジャックナイフストレッチング前後におけるFFDの変化

ジャックナイフストレッチング前後におけるFFDの変化をFigure 2に示した．分散分析の結果，有意な交互作用（介入×時間）が認められた（$F = 92.33$，$p < 0.01$，$\eta_p^2 = 0.86$）．単純主効果検定の結果，ストレッチング実施条件では介入前と比較して，介入後にFFDは有意に増大したが（pre；−1.4 ± 7.7 cm，post；3.2 ± 7.6 cm，$p < 0.01$，Hedges’ g = 0.58），コントロール条件では，しゃがみ姿勢前後（pre；−1.3 ± 7.6 cm，post；−1.3 ± 7.6 cm，$p = 0.86$, Hedges’ g = 0.01）で有意な変化は認められなかった．

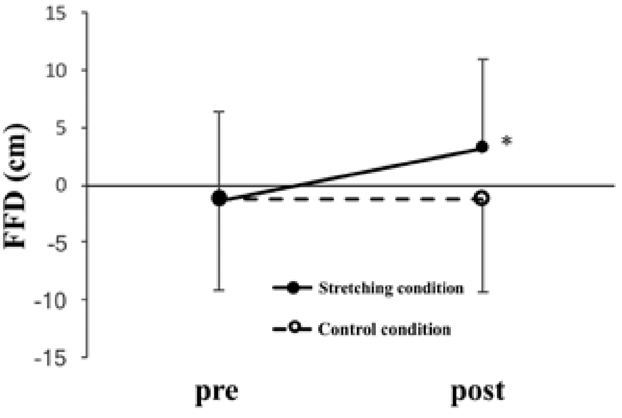

Figure 2. Changes in FFD pre and post stretching

FFD: Finger Floor Distance, pre: before stretching,
post: immediately after stretching
*: p < 0.01: significant difference between pre vs. post stretching.
Values are expressed as mean ± SD (standard deviation).

2．ジャックナイフストレッチング前後における胸椎および腰椎屈曲可動域と骨盤前傾可動域の変化

ジャックナイフストレッチング前後における胸椎および腰椎屈曲可動域と骨盤前傾可動域の変化をFigure 3に示し

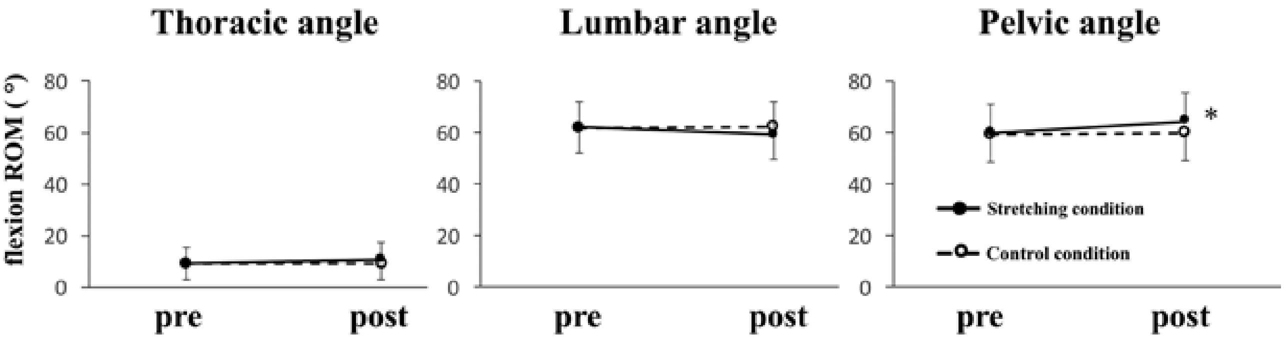

Figure 3. Changes in flexion ROM of the thoracic angle, lumbar angle, and pelvic angle pre and post stretching

flexion ROM: flexion range of motion, pre: before stretching, post: immediately after stretching
*: $p < 0.01$: significant difference between pre vs. post stretching. Values are expressed as mean ± SD (standard deviation).

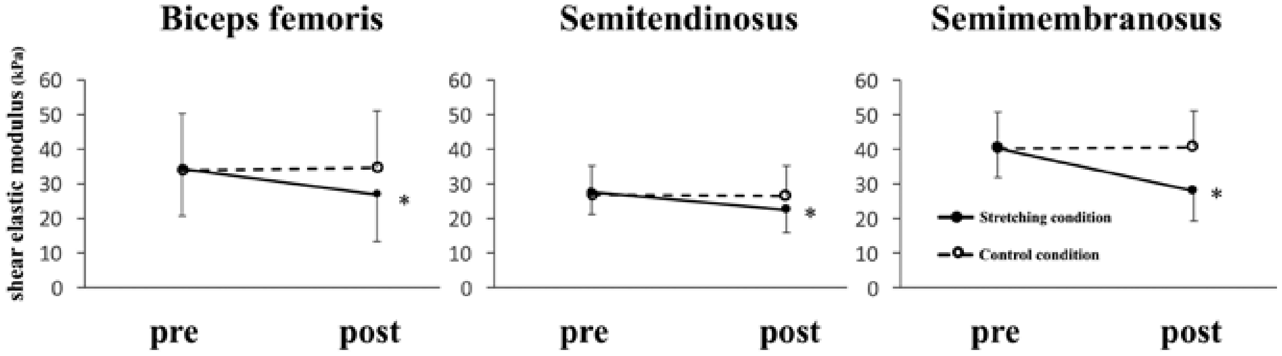

Figure 4. Changes in shear elastic modulus of the biceps femoris, semitendinosus and semimembranosus muscle pre and post stretching

pre: before stretching, post: immediately after stretching
*: $p < 0.01$: significant difference between pre vs. post stretching. Values are expressed as mean ± SD (standard deviation).

た．胸椎および腰椎屈曲可動域は，分散分析の結果，有意な交互作用（介入×時間）および主効果は認められなかった．一方，骨盤前傾可動域は，分散分析の結果，有意な交互作用（介入×時間）が認められた（$F = 20.65$, $p < 0.01$, $\eta_p^2 = 0.59$）．単純主効果検定の結果，ストレッチング実施条件では介入前と比較して，介入後に骨盤前傾可動域は有意に増大したが（pre；59.9 ± 10.9 °，post；64.6 ± 10.6 °，$p < 0.01$，Hedges’ **g** = 0.44），コントロール条件では，しゃがみ姿勢前後（pre；59.3 ± 10.7 °，post；59.8 ± 10.9 °，$p = 0.88$，Hedges’ **g** = 0.05）で有意な変化は認められなかった．

3．ジャックナイフストレッチング前後における大腿二頭筋，半腱様筋，半膜様筋の弾性率の変化

ジャックナイフストレッチング前後における大腿二頭筋，半腱様筋，半膜様筋の弾性率の変化をFigure 4に示した．全ての筋において，有意な交互作用（介入×時間）が認められた（大腿二頭筋，$F = 10.19$, $p < 0.01$, $\eta_p^2 = 0.42$；半腱様筋，$F = 9.07$, $p < 0.01$, $\eta_p^2 = 0.39$；半膜様筋，$F = 26.07$, $p < 0.01$, $\eta_p^2 = 0.65$）．単純主効果検定の結果，ストレッチング実施条件では，介入前と比較して，介入後に全ての筋の弾性率は有意に低い値を示したが（大腿二頭筋：pre, 34.2 ± 16.9 kPa；post, 26.8 ± 13.6 kPa；$p < 0.01$；Hedges’ **g** = 0.48，半腱様筋：pre, 27.6 ± 10 kPa；post, 22.5 ± 6.6 kPa；$p < 0.01$；Hedges’ **g** = 0.60，半膜様筋：pre, 40.3 ± 10.7 kPa；post, 28.0 ± 8.5 kPa；$p < 0.01$；Hedges’ **g** = 1.25），コントロール条件では，しゃがみ姿勢前後で有意な変化は認められなかった（大腿二頭筋：pre, 33.9 ± 16.4 kPa；post, 34.4 ± 16.8 kPa；$p = 0.07$；Hedges’ **g** = 0.03，半腱様筋：pre, 26.7 ± 8.7 kPa；post, 27.5 ± 9.1 kPa；$p = 0.08$；Hedges’ **g** = 0.09，半膜様筋：pre, 40.3 ± 10.4 kPa；post, 40.7 ± 10.7 kPa；$p = 0.13$；Hedges’ **g** = 0.04）．

Ⅳ．考　　察

本研究では，ジャックナイフストレッチングの即時効果を脊柱屈曲可動域およびハムストリングスの弾性率に着目して検討した．これまでにジャックナイフストレッチングの効果として，FFDや骨盤前傾角度が増大したとする報告[9-11]はあったものの，ジャックナイフストレッチング前後における胸腰椎屈曲可動域およびハムストリングスの弾

性率の変化を検討した報告は渉猟する限り本研究が初めてである．

本研究の結果から，FFDはストレッチング実施条件でストレッチング後に有意に増大した．脊柱屈曲可動域に関して，胸椎および腰椎屈曲可動域は，ストレッチング実施条件でもストレッチング前後で変化が認められなかったのに対し，骨盤前傾可動域は，ストレッチング実施条件でストレッチング後に有意に増大した．さらに，弾性率は，全ての筋において，ストレッチング実施条件でストレッチング後に有意に低い値を示した．これらのことから，ジャックナイフストレッチング後のFFDの増大には，胸腰椎の屈曲可動域変化の関与は少なく，ハムストリングスの弾性低下に起因した骨盤前傾可動域増大の関与が大きいことが明らかとなった．

1．FFDおよび骨盤前傾可動域の増大

本研究ではジャックナイフストレッチングにより，FFDや骨盤前傾可動域の増大が認められ，これらの結果はSairyoら[9)]やHasebeら[11)]の結果を支持するものとなった．FFDにおける効果量の比較として，本研究ではHedges' g = 0.58と効果量中であったのに対し，先行研究では本研究より効果量大であった（Sairyo：pre，−14.1 ± 6.1 cm；post, 8.1 ± 3.7 cm，Hedges' g = 4.40，Hasebe：pre，−5.8 ± 5.5 cm；post, 2.5 ± 3.8 cm，Hedges' g = 1.76）．その理由に，本研究ではストレッチング直後の介入結果であった一方で，Sairyoら[9)]は4週間後，Hasebeら[11)]は6週間後の介入結果であったことから，介入期間の差異が効果量の結果に反映した可能性がある．これらの結果から，ジャックナイフストレッチングの長期介入がFFDの増大により有効であるかもしれない．

体幹の運動は，脊椎と骨盤の複合運動[3)]であり，腰椎の角度変化量と骨盤の角度変化量の割合である腰椎－骨盤比（Lumbar-to-hip flexion ration；以下，L/H 比）で示されることが多い．健常者の前屈動作において，初期ではL/H比が大きくなり（腰椎部の屈曲運動が優位），中期では同程度の割合，後期ではL/H比が小さくなる（骨盤部の前傾運動が優位）ことが報告されており[3,11)]，相によって体幹前屈動作の運動様式は異なることが示されている．Hasebeら[11)]は，相反抑制を利用したジャックナイフストレッチング理論に基づいた機器を用い，ストレッチング前後のFFDおよびL/H 比の変化を検証した．その結果，ストレッチング後にFFDは有意に増大し，L/H 比は体幹前屈動作の初期から減少したものの，有意に減少したのは後期であったと報告した．本研究の結果から，Hasebeら[11)]の報告で認められた体幹前屈動作後期での有意なL/H比の減少，すなわち骨盤前傾可動域の増大は，ハムストリングスの弾性変化によるものである可能性が示された．腰痛患者は，体幹前屈動作において，骨盤前傾可動域が低下しL/H比が大きくなることから，骨盤前傾可動域の低下が腰痛発症の要因として指摘されている[3)]．従って，ハムストリングスのストレッチングで認められる骨盤前傾可動域の増大は，腰部障害などの予防に寄与するという点で重要であると考えられる．

2．ストレッチング前後の胸腰椎屈曲可動域

本研究では，胸腰椎屈曲可動域を変化させる即時効果は認められなかった．このことから，ジャックナイフストレッチングによるFFDの増大に，胸腰椎屈曲可動域変化の関与は少なかったことが示された．胸腰椎屈曲可動域が変化しなかった理由として，ジャックナイフストレッチングでは，脊柱起立筋をはじめとする体幹伸展筋群は伸長されていなかった可能性がある．本研究では，ストレッチング姿勢でどの程度胸腰椎が屈曲していたのか，また脊柱起立筋群が伸長されていたかどうかの検討をしていない．今後はストレッチング姿勢での胸腰椎屈曲角度の検討とともに，ストレッチング中の脊柱起立筋群の受動張力を，筋弾性率を用いて評価することが必要であると考える．

3．ハムストリングスの弾性低下

ハムストリングスの弾性率は，ストレッチング後に全ての筋で有意に低い値を示した．これらの結果は，ストレッチング後にハムストリングスの弾性低下を認め，伸張負荷が筋弾性を低下させると報告した先行研究[23-26)]の結果を支持するものとなった．また，本研究の効果量Hedges' gは，大腿二頭筋が0.48と効果量小，半腱様筋が0.60と効果量中，半膜様筋が1.25と効果量大を示し，Ichihashiら[24)]（大腿二頭筋：Hedges' g = 0.54，半腱様筋：Hedges' g = 0.52，半膜様筋：Hedges' g = 1.22），Umegakiら[25)]（大腿二頭筋：Hedges' g = 0.67，半腱様筋：Hedges' g = 0.73，半膜様筋：Hedges' g = 1.43），Nakaoら[26)]（大腿二頭筋：Hedges' g = 0.87，半腱様筋：Hedges' g = 0.58，半膜様筋：Hedges' g = 0.58）の効果量と，概ね同程度であったことから，これまで示された過去の報告におけるストレッチング効果と同等であることが示された．

本研究で検討したジャックナイフストレッチングは，ハムストリングスに対するストレッチング法[9)]であるとされており，FFDや骨盤前傾可動域の増大が即時効果として認められている[9-11)]．しかし，これらの指標では，ハムストリングス以外の要因に影響を受ける可能性があった．本研究で用いた弾性率は，受動張力と高い相関関係[16-18)]にあることから，ストレッチング前後におけるハムストリングスの機械的特性の変化を評価するのに有効であると考える．先行研究より，骨盤前傾によりハムストリングスの弾性が大きくなる[19)]ことや，股関節屈曲角度および膝関節伸展角度の増大によりハムストリングスの弾性が大きくなる[22)]ことから，骨盤前傾や股関節屈曲角度，膝関節伸展角度の増大は，ハムストリングスを伸長させることが明らかとなっている．本研究におけるストレッチング法では，股関

節を十分に屈曲させた状態から膝関節を伸展させる手技であったことから，ハムストリングスに対して伸張負荷が加わっていたことが推察される．以上より，本研究や先行研究で認められたストレッチング後のFFDや骨盤前傾可動域の増大は，ハムストリングスの弾性低下に起因した変化である可能性が示された．

4．ジャックナイフストレッチングの有用性

本研究で用いたジャックナイフストレッチングのプログラムにおいては，ハムストリングスの全ての筋で弾性率を低下させ，骨盤前傾可動域を増大させる即時効果を示したことから，ハムストリングスの柔軟性の低下とそれに伴う骨盤可動性低下の関与[5－7]が一因にある肉離れや腰部障害の予防に有用である可能性がある．しかし，ストレッチング後の筋の弾性率の低下や骨盤前傾可動域の増大が，肉離れや腰部障害の予防に関連があるかは明らかではないため，これらのストレッチング方法のプロトコルが予防に有効であるかを今後検証していく必要がある．

5．本研究の限界

本研究にはいくつかの研究限界がある．第一に，本研究では，ハムストリングスの弾性率の低下に効果的とされている他のストレッチング方法と比較していない．今後は弾性率の低下に，より効果的なストレッチング法を比較検討する必要がある[23-26]．第二に，本研究では弾性率を指標として即時効果のみを検討しており，筋の弾性における持続効果や長期的な介入効果に関しては不明である．今後はジャックナイフストレッチングの長期的介入効果を筋の弾性変化に着目して検討する必要がある[9,24]．第三に，ジャックナイフストレッチングは大腿四頭筋の筋収縮を用いて，ハムストリングスの筋緊張緩和を目的とする手技[9,11]とされているが，ストレッチング中の大腿四頭筋の筋活動を計測していないことから，膝関節の随意的な最大伸展が為されていたかは確認できていない．今後はストレッチング中に筋電図を用いて，筋収縮動態を詳細にモニタリングする必要がある．

Ⅴ．ま　と　め

本研究では，脊柱屈曲可動域およびハムストリングスの弾性率に着目して，ジャックナイフストレッチングの即時効果を検討した．その結果，ジャックナイフストレッチングの即時効果として，FFDおよび骨盤前傾可動域の増大，ハムストリングスの弾性率の低下が認められることが示された．このことから，ジャックナイフストレッチングはハムストリングスの弾性率を低下させるのに効果的なストレッチング法であることが明らかとなった．また，FFDの増大は，胸腰椎屈曲可動域の変化の関与は少なく，ハムストリングスの弾性低下による骨盤前傾可動域の増大に起因した可能性が示唆された．

引 用 文 献

1）Gajdosik RL.: Effects of static stretching on the maximal length and resistance to passive stretch of short hamstring muscles. J Orthop Sports Phys Ther. 14 : 250-255, 1991
2）Ekstrand J, Hagglund M, Walden M.: Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). Am J Sports Med. 39 : 1226-1232, 2011
3）Esola MA, McClure PW, Fitzgerald GK, et al.: Analysis of lumbar spine and hip motion during forward bending in subjects with and without a history of low back pain. Spine. 21 : 71-78, 1996
4）McClure PW, Esola MA, Schreier M, et al.: Kinematic analysis of lumbar and hip motion while rising from a forward, flexed position in patients with and without a history of low back pain. Spine. 22 : 552-558, 1997
5）Mendiguchia J, Alentorm-Geli, Brughelli M.: Hamstring strain injuries: are we heading in the right direction?. Br J Sports Med. 46 : 81-86, 2012
6）Valle X, L Tol J, Hamilton B, et al.: Hamstring Muscle Injuries, a Rehabilitation Protocol Purpose. Asian J Sports Med. 6 : e25411, 2015
7）McHugh MP, Cosgrave CH.: To stretch or not to stretch: the role of stretching in injury prevention and performance. Scand J Med Sci Sports. 20 : 169-181, 2010
8）Alter MJ: Sport Stretch. Human Kinetics, United Graphics. United States of America, 1989, p1-2
9）Sairyo K, Kawamura T, Mase Y, et al.: Jack-knife stretching promotes flexibility of tight hamstrings after 4 weeks: a pilot study. Eur J Orthop Surg Traumatol. 23 : 657-663, 2013
10）松永直人，大久保雄，金岡恒治：ハムストリングスの伸張性が腰椎骨盤リズムに及ぼす影響．日本臨床スポーツ医学会誌．21 : 70-76, 2013
11）Hasebe K, Okubo Y, Kaneoka K, et al.: The effect of dynamic stretching on hamstrings flexibility with respect to the spino-pelvic rhythm. J Med Invest. 63 : 85-90, 2016
12）Tully EA, Stillman BC.: Computer-aided video analysis of vertebrofemoral motion during toe touching in healthy subjects. Arch Phys Med Rehabil. 78 : 759-766, 1997
13）Kippers V, Parker AW.: Toe-touch test. A measure of its validity. Phys Ther. 67 : 1680-1684, 1987
14）井上陽介，古後晴基：相反抑制を用いたストレッチングの有効性．西九州リハビリテーション研究．6 : 25-

28, 2013
15）Sullivan MK, Dejulia JJ, Worrell TW.: Effect of pelvic position and stretching method on hamstring muscle flexibility. Med Sci Sports Exerc. 24 : 1383-1389
16）Maisetti O, Hug F, Bouillard K, et al.: Characterization of passive elastic properties of the human medial gastrocnemius muscle belly using supersonic shear imaging. J Biomech.45 : 978-984, 2012
17）Hug F, Tucker K, Gennisson JL, et al.: Elastography for Muscle Biomechanics: Toward the Estimation of Individual Muscle Force. Exerc Sport Sci Rev. 43 : 125-33, 2015
18）Koo TK, Guo JY, Cohen JH, et al.: Relationship between shear elastic modulus and passive muscle force: An ex-vivo study. J Biomech. 46 : 2053-2059, 2013
19）Nakamura M, Hasegawa S, Umegaki H, et al.: 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
20）杉野伸治，松尾礼美，廣庭美紀　他．矢状面レントゲン画像との比較によるスパイナルマウスの妥当性の検証．ヘルスプロモーション理学療法研究． 3 : 123-127, 2013
21）Mannion AF, Knecht K, Balaban G, et al.: A new skin-surface device for measuring the curvature and global and segmental ranges of motion of the spine: reliability of measurements and comparison with data reviewed from the literature. Eur Spine. 13 : 122-136, 2003
22）Le Sant G, Ates F, Brasseur JL, et al.: Elastography Study of Hamstring Behaviors during Passive Stretching. PLoS One. 10: e0139272, 2015
23）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
24）Ichihashi N, Umegaki H, Ikezoe T, et al.: The effects of a 4-week static stretching programme on the individual muscles comprising the hamstrings. J Sports Sci. 34 : 2155-2159, 2016
25）Umegaki H, Ikezoe T, Nakamura M, et al.: 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
26）Nakao G, Taniguchi K, Katayose M.: Acute effect of active and passive static stretching on shear elastic modulus of the hamstring muscles. Sports Med Int Open. 15(2) : E163-E170, 2018
27）Kellis E.: Biceps femoris and semitendinosus tendon/aponeurosis strain during passive and active (isometric) conditions. J Electromyogr Kinesiol. 26 : 111-119, 2016
28）Taniguchi K, Shinohara M, Nozaki S, et al.: Acute decrease in the stiffness of resting muscle belly due to static stretching. Scand J Med Sci Sports. 25 : 32-40, 2015
29）水本篤，竹内理．研究論文における効果量の報告のために－基礎的概念と注意点－．英語教育研究. 31 : 57-66, 2008