

寄稿



## 腰痛患者，腰痛既往者における腰背部筋の筋硬度増加に対する理学療法\*

正木光裕

### 【要旨】

腰痛発症や腰痛再発は椎体や神経，椎間板，椎間関節，靭帯，腰背部筋といった様々な原因によって生じる。本稿では，腰痛発症や腰痛再発の原因の一つである腰背部筋に着目し，現在の腰痛や腰痛既往と腰背部筋の筋硬度増加との関連について概観した。また，体幹肢位が腰背部筋の伸張性を反映する筋硬度に及ぼす影響から，腰背部筋の効果的なストレッチングについても述べた。腰痛患者や腰痛既往者は原因によってサブタイプに分かれるため，サブタイプや患者に応じて理学療法を実施することが必要である。

キーワード：腰痛，腰背部筋，筋硬度

### I. はじめに

腰痛は成人の多くが生涯において経験し，日常生活動作の制限や心理的なストレスにつながる。また，腰痛が慢性化することで二次的な運動機能の低下や医療費の増加にもつながる。したがって，腰痛発症や腰痛再発の原因を解明し，腰痛の改善や予防のための効果的な理学療法を開発することは重要である。

腰痛は腰椎椎間板ヘルニアや腰椎すべり症，腰椎分離症，腰部脊柱管狭窄症，腰椎圧迫骨折といった脊柱疾患（椎体や神経といった腰椎周囲の組織が原因）による特異的腰痛と，原因が明らかでない非特異的腰痛に分類される。非特異的腰痛の原因は明らかでないが，椎間板，椎間関節，靭帯，腰背部筋といった腰椎周囲の組織にストレスが生じることで発症すると考えられる。非特異的腰痛の中でも，椎間板や椎間関節，靭帯は動作中

の過剰な腰椎運動（腰椎の剪断・圧迫力）によってストレスが生じる。一方，腰背部筋は動作中の過剰な筋収縮によって筋硬度が増加し，筋・筋膜性腰痛の発症や再発につながっている可能性がある。しかし，現在腰痛を有する腰痛患者や，過去に腰痛を有していたが現在は治まっている腰痛既往者において，どの腰背部筋に筋硬度増加が生じているかはこれまで明らかにされていなかった。

本稿では，腰痛患者や腰痛既往者における腰背部筋の筋硬度増加に関する，筆者らの研究を紹介する。また，体幹肢位が腰背部筋の伸張性を反映する筋硬度に及ぼす影響を検討した筆者らの研究から，腰背部筋の筋硬度増加に対する理学療法について述べる。

### II. 腰背部における深層筋と表層筋

筋による関節の能動的制御の役割は大きく分けて2つある。1つ目として，矢状・前額・水平面での関節運動を生じさせる役割である。2つ目として，関節の長軸方向の圧迫力を高めることで，関節の挙動を防いで安定させる役割である。筋がどちらの役割をより有しているかについては，関節の中心から筋までの距離，すなわち筋のモーメントアーム（てこ）によって決まる。

例えば，腰背部筋の中でも表層筋である脊柱起

\* Physical therapy for increased stiffness of the lumbar back muscles in individuals with low back pain or history of low back pain

新潟医療福祉大学 リハビリテーション学部  
理学療法学科  
(〒950-3198 新潟県新潟市北区島見町1398)  
Mitsuhiro Masaki, Ph.D: Department of Physical Therapy,  
Niigata University of Health and Welfare

# E-mail: E-mail: masaki@nuhw.ac.jp

立筋は、関節の中心から筋までの距離が長く、筋のモーメントアームが大きい。このような脊柱起立筋は関節運動を生じさせることに有利であり、体幹伸展や側屈といった主動作筋としての作用により寄与している。一方、腰背部筋の中でも深層筋である腰部多裂筋は、関節の中心から筋までの距離が短く、筋のモーメントアームが小さい。このような腰部多裂筋は関節（腰椎）の長軸方向の圧迫力を高めることで腰椎の安定化により寄与している<sup>1)</sup>。

このように、筋による関節の能動的制御の役割は筋のモーメントアームによって決まる。また、動作中での筋力発揮は、筋のモーメントアームや筋断面積・筋内非収縮組織（結合組織や脂肪組織）の割合、脳からの指令を反映している筋活動といった要因によって影響される。

### Ⅲ. 腰痛患者、腰痛既往者における腰背部筋の筋活動変化

現在腰痛を有する腰痛患者は立位動作中に、深層筋である腰部多裂筋の筋活動量が減少し<sup>2)</sup>、表層筋である脊柱起立筋の筋活動量が増加していることが報告されている<sup>3)</sup>。腰痛患者は歩行動作中に、脊柱起立筋の筋活動量が増加していることも報告されている<sup>4)</sup>。また、過去に腰痛を有していたが現在は治まっている腰痛既往者においても、立位動作中に腰部多裂筋の筋活動量が減少し<sup>5)</sup>、筋活動開始時間が遅延している<sup>6)</sup>ことが報告されている。さらに、腰痛既往者は四つ這い位動作中に脊柱起立筋の筋活動量が増加していることも報告されている<sup>7)</sup>。このように、腰痛患者や腰痛既往者は動作中に、腰背部筋の筋活動変化が生じていることが明らかとなっている。

腰痛患者における腰部多裂筋の筋活動変化に対するトレーニング効果も報告されている<sup>8)</sup>。この報告では腰痛患者に体幹伸展トレーニングを実施し、脊柱起立筋、腰部多裂筋といった腰背部筋を全体的に活動させることで、体幹動作中での腰部多裂筋の筋活動量は即時的に減少したと報告されている。一方、脊柱起立筋に対する腰部多裂筋の選択的トレーニングを実施することで、体幹動作中での腰部多裂筋の筋活動量は即時的に増加したとされている。これらのことより、腰痛患者における動作中での腰部多裂筋の筋活動量を改善するためには、脊柱起立筋に対する腰部多裂筋の選択的トレーニングが効果的である可能性が示唆されている。腰部多裂筋の選択的トレーニングとしては、四つ這い位での一側上肢と反対側下肢の挙上<sup>9)</sup>

が臨床場面でも一般的に実施されている。

### Ⅳ. 腰痛患者における腰背部筋の筋硬度増加

上述のように、腰痛患者や腰痛既往者は動作中での脊柱起立筋の筋活動量が増加しているため、過剰使用によって循環不良が生じ、脊柱起立筋の筋硬度増加による筋・筋膜性腰痛の発症につながっている可能性がある。これまで腰背部筋の筋硬度を皮下脂肪や結合組織といった筋以外の組織と区別した上で、個別の筋に分けて定量的に評価することが困難であったため、腰痛患者の腰背部筋の筋硬度は明らかにされていなかった。しかし、超音波画像診断装置のせん断波エラストグラフィ機能（shear wave elastography: 以下、SWE）を用いることで、筋硬度の指標である弾性率を個別の筋において定量的に求めることが可能となった。超音波画像診断装置のSWEは、超音波パルスによって組織中にせん断波を発生させ、その伝播速度を測定することによって組織の硬度（弾性率）を評価するものである。弾性率（G）、組織密度（ $\rho$ ）、せん断波伝播速度（v）の関係式は  $G = \rho v^2$  となり、 $\rho$ は  $1000\text{kg/m}^3$  で表わされる<sup>10)</sup>。この弾性率が大きい程、筋硬度が高いことを意味する。この超音波画像診断装置のSWEによる弾性率は伸張性を反映する<sup>11)12)</sup>ことや、筋力発揮とも関連する<sup>13)</sup>ことが報告されている。

筆者らはこの超音波画像診断装置のSWEを用いて、腰痛患者を対象に現在の腰痛に関連する要因（動作中での筋活動量が増加している脊柱起立筋に筋硬度増加が生じているか、他の腰背部筋に筋硬度増加が生じているか）について検討を試みた<sup>14)</sup>。対象は健常な医療介護従事者23名（健常群）、現在腰痛を有する医療介護従事者9名（腰痛群）とした。医療介護従事者は看護師や介護福祉士、理学療法士、作業療法士、言語聴覚士であった。SWEを有する超音波画像診断装置を使用して、腰背部筋の筋硬度評価として、安静腹臥位での腰部脊柱起立筋（腰腸肋筋）、腰部多裂筋の弾性率を測定した。腰背部筋の筋量評価として、安静腹臥位での腰部脊柱起立筋（腰腸肋筋）、腰部多裂筋、腰方形筋の筋厚を測定した。また、スパイナルマウスを使用して、安静立位、安静腹臥位での矢状面の胸椎後彎角度、腰椎前彎角度、仙骨前傾角度を算出した。

多重ロジスティック回帰分析の結果、腰痛と有意な関連のある要因として、安静腹臥位での腰部多裂筋の弾性率が抽出され、腰部脊柱起立筋の弾性率は抽出されなかった。腰痛群は健常群よりも

表 1. 腰痛と腰背部筋の筋硬度との関連

従属変数	独立変数	非標準化係数	P 値	オッズ比	95% 信頼区間	
					下限	上限
腰痛 (Yes = 1, No = 0)	腰部多裂筋弾性率 (kPa)	1.42	0.03	4.13	1.17	14.63
	身長 (cm)	-0.20	0.02	0.82	0.69	0.97
$\chi^2$ 値 P = 0.002						

表 2. 腰痛既往と腰背部筋の筋硬度との関連

従属変数	独立変数	非標準化係数	P 値	オッズ比	95% 信頼区間	
					下限	上限
腰痛既往 (Yes = 1, No = 0)	腰部多裂筋弾性率 (kPa)	0.56	0.06	1.75	0.97	3.17
$\chi^2$ 値 P = 0.04						

安静腹臥位での腰部多裂筋の弾性率が高いことが示された (表 1)。この理由として、医療介護者は医療処置や介護、リハビリテーション中に立位で体幹屈曲し、骨盤が前傾した姿勢を保持することや、患者のトランスファー中に体幹の伸展動作を行う頻度が多いことが挙げられる。脊柱起立筋は腰背部筋の中でも表層筋であり、体幹伸展の大きなモーメントアームを有するため<sup>15)</sup>、関節運動を生じさせることに有利である。一方、深層筋である腰部多裂筋の体幹伸展のモーメントアームは脊柱起立筋よりも小さく<sup>16)</sup>、腰椎の安定化に有利であるが<sup>17)</sup>、関節運動を生じさせることに不利である。また、体幹伸展動作中での腰部多裂筋の筋活動量は脊柱起立筋よりも高い傾向を示している<sup>18)</sup>。これらのことから、腰痛患者において、体幹伸展動作中での腰部多裂筋の筋活動は過剰使用につながっている可能性がある。腰部多裂筋は過剰使用による循環不良によって、筋硬度増加や筋・筋膜性腰痛の発症につながっていることが考えられる。

本研究の結果において、腰痛患者では椎間板や椎間関節、靭帯による腰痛が一次的に生じていることで、腰部多裂筋に腰痛による筋スパズム (収縮) が生じている可能性も考えられる。この場合は、筋スパズムによる腰部多裂筋の過剰使用によって、今後、腰部多裂筋の循環不良が生じ、二次的な腰痛の発症につながる可能性がある。

## V. 腰痛既往者における腰背部筋の筋硬度増加

腰痛は寛解しても再発することが多いため、腰痛既往者の身体特性や動作特性を明らかにすることも重要である。筆者らは腰痛既往に関連する要因を明らかにするために、SWE を有する超音波画

像診断装置を使用して、腰痛患者のみならず腰痛既往者においても腰部多裂筋の筋硬度増加が生じているかについて検討を試みた<sup>19)</sup>。対象は健康な地域在住中高齢者 19 名 (健常群)、腰痛既往を有する地域在住中高齢者 16 名 (腰痛既往群) とした。SWE を有する超音波画像診断装置を使用し、腰背部筋の筋硬度評価として、安静腹臥位での腰部脊柱起立筋 (腰腸筋)、腰部多裂筋の弾性率を測定した。腰背部筋の筋量評価として、安静腹臥位での胸部脊柱起立筋 (胸最長筋)、腰部脊柱起立筋 (腰腸筋)、腰部多裂筋、腰方形筋の筋厚を測定した。また、スパイナルマウスを使用して、安静立位、安静腹臥位での矢状面の胸椎後彎角度、腰椎前彎角度、仙骨前傾角度を算出した。

多重ロジスティック回帰分析の結果、腰痛既往と有意な関連のある要因として、安静腹臥位での腰部多裂筋の弾性率が抽出され、腰痛患者の研究と同様の結果が示された。腰痛既往群は健常群よりも安静腹臥位での腰部多裂筋の弾性率が高いことが示された (表 2)。この理由として、腰痛既往者は過去の腰痛が生じていた時期に腰痛による筋スパズムによって、腰部多裂筋の筋硬度が増加していた可能性がある。そして、腰痛が治まった後においても、運動の誤学習によって腰部多裂筋の筋硬度が筋スパズムにより高くなっている可能性が考えられる。このような筋スパズムによる腰部多裂筋の過剰収縮によって、今後、腰部多裂筋の循環不良が生じ、腰痛再発につながる可能性がある。

## VI. 腰痛患者、腰痛既往者における腰背部筋の評価

臨床場面にて腰痛が生じている原因を評価する際には、computed tomography や magnetic

resonance imaging)によって撮影された画像に加えて、腰痛が生じている部位も参考となる。腰椎上に痛みが生じているのか、腰椎よりも離れた腰椎の側方に痛みが生じているのか、また腰痛と同時に下肢痛も生じているのか評価することが重要である。腰椎上に痛みが生じている場合、椎体や椎間板、椎間関節、靭帯へのストレスが考えられる。腰椎よりも離れた腰椎の側方に痛みが生じている場合、腰背部筋へのストレスが考えられ、腰部脊柱起立筋もしくは腰部多裂筋に圧痛が生じるか触診で評価する。腰痛と同時に下肢痛も生じている場合には、腰椎椎間板ヘルニア、腰椎すべり症、腰部脊柱管狭窄症といった神経へのストレスが考えられる。

腰痛患者や腰痛既往者における腰背部筋の筋硬度増加を評価するには、腰部多裂筋もしくは脊柱起立筋のどちらかに触診による圧痛が生じているか確認する。第4, 5腰椎の高さにて腰椎のすぐ側方では、脊柱起立筋が付着する胸腰筋膜が存在するため、腰部多裂筋が腰背部筋の中で最も表層となる。したがって、腰部多裂筋はこの位置で触診による圧痛評価が可能である<sup>1)</sup>。脊柱起立筋は第3腰椎の約7cm外側の位置で圧痛評価が可能である。

## VII. 腰痛患者、腰痛既往者における腰背部筋の筋硬度増加に対する理学療法

コクランシステマティックレビューによると、腰痛の改善において腰背部のストレッチング<sup>20)</sup>やマッサージ<sup>21)</sup>は効果的であると報告されている。これらのレビューに含まれている先行研究の対象者には、腰背部筋が腰痛発症の原因である腰痛患者のみならず、腰背部筋以外の原因による腰痛患者も含まれているが、ストレッチングが腰背部筋の循環不良を改善し、筋硬度減少や腰痛の改善につながっている可能性がある。しかし、これまで筋硬度を個別の筋に分けて定量的に評価することが困難であったため、腰背部筋の効果的なストレッチングは明らかにされていなかった。

したがって、筆者らはSWEを有する超音波画像診断装置を使用して、体幹肢位が腰背部筋の伸張を反映する筋硬度に及ぼす影響を検討することで、腰部脊柱起立筋と腰部多裂筋の効果的なストレッチングについて検討を試みた<sup>22)</sup>。対象は健康若年男性10名とした。腰部脊柱起立筋は体幹の伸展、同側側屈、同側回旋の作用を有する。筋は作用の反対である肢位で効果的に伸張されるため、腰部脊柱起立筋は作用の反対である体幹屈曲に反対側側屈もしくは反対側回旋を加えることで効果

的に伸張される可能性がある。一方、腰部多裂筋は体幹の伸展、同側側屈、反対側回旋の作用を有する。このことから、腰部多裂筋は体幹屈曲に反対側側屈もしくは同側回旋を加えることで効果的に伸張される可能性がある。超音波画像診断装置のSWEを用いて、左側の腰部脊柱起立筋(腰腸筋)、腰部多裂筋の弾性率を測定した。腰部脊柱起立筋は(1)安静腹臥位(以下、安静位)、(2)正座にて体幹を40-45°屈曲して腰背部筋を伸張した姿位(以下、体幹屈曲位)、(3)体幹屈曲位から体幹を30°右側屈した肢位(以下、体幹屈曲-側屈位)、(4)体幹屈曲位から体幹を30°右回旋した肢位(以下、体幹屈曲-右回旋位)にて測定した。腰部多裂筋は(1)-(3)の肢位と(5)体幹屈曲位から体幹を30°左回旋した肢位(以下、体幹屈曲-左回旋位)にて測定した。

多重比較の結果、腰部脊柱起立筋の弾性率(図1)は、体幹屈曲位、体幹屈曲-側屈位が安静位よりも有意に高かった。また、体幹屈曲-側屈位が体幹屈曲位、体幹屈曲-右回旋位よりも有意に高かった。その他の比較においては有意な差がみられなかった。先行研究において、筋のモーメントアームが大きく、関節角度の変化が大きいほど、筋腱複合体はより伸張されることが報告されている<sup>23)</sup>。腰部脊柱起立筋における体幹伸展のモーメントアームは6.1 ± 0.6 cm、体幹側屈のモーメントアームは2.2 ± 0.4 cmである<sup>16)</sup>。腰部脊柱起立筋の体幹同側側屈のモーメントアームは体幹伸展のモーメントアームよりも小さいが、その大きさは中等度である。したがって、腰部脊柱起立筋の作用の反対である体幹反対側側屈を屈曲に加えることで、腰部脊柱起立筋はより伸張されたと考えられる。リハビリテーションにおいて、腰部脊柱起立筋のストレッチングは臨床場面において、

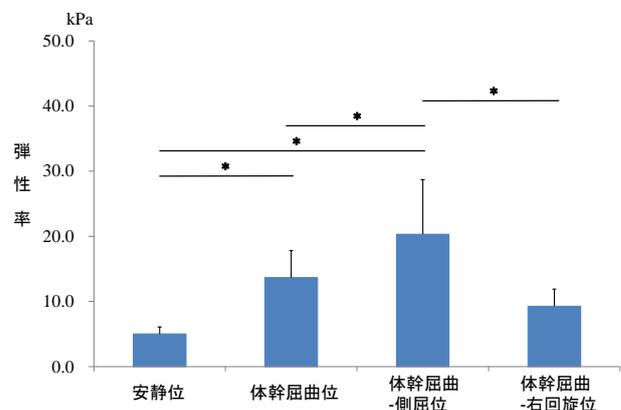


図1. 各体幹肢位における腰部脊柱起立筋の弾性率

一般的に体幹屈曲にて実施されている<sup>24) 25)</sup>。しかし、筆者らの研究結果より、腰部脊柱起立筋は体幹屈曲や体幹屈曲に反対側回旋を加えることよりも、体幹屈曲に反対側側屈を加えることで効果的に伸張されることが示唆された(図2)。

腰部多裂筋の弾性率(図3)は、体幹屈曲位、体幹屈曲-側屈位、体幹屈曲-左回旋位が安静位よりも有意に高かった。その他の比較においては有意な差がみられず、体幹屈曲位と体幹屈曲-側屈位、体幹屈曲-左回旋位の間には有意な差はみられなかった。腰部多裂筋における体幹伸展のモーメントアーム(5.5 ± 0.7 cm)は、腰部脊柱起立筋における体幹伸展のモーメントアーム(6.1 ± 0.6 cm)には劣るが比較的大きい。また、腰部多裂筋は体幹同側側屈作用や体幹反対側回旋作用を有するが、腰部多裂筋における体幹同側側屈のモーメントアーム(1.1 ± 0.1 cm)は、体幹伸展のモーメントアーム(5.5 ± 0.7 cm)よりも小さく、その大きさも小さい<sup>16)</sup>。また、腰部多裂筋の体幹反対側回旋のモーメントアームについて検討

した報告は先行研究において見当たらないが、体幹伸展のモーメントアームよりも小さい可能性がある。したがって、腰部多裂筋は体幹屈曲に反対側側屈や同側回旋を加えても、効果的に伸張されなかったと考えられる。腰部多裂筋を効果的に伸張するには、体幹屈曲に反対側側屈や同側回旋を加えなくても、体幹屈曲で効果的に伸張できることが示唆された(図2)。

今後、筋・筋膜性腰痛を有する腰痛患者を対象として、このような腰背部筋のストレッチングが腰背部筋の筋硬度増加や腰痛に及ぼす効果を検証することが求められている。また、臨床場面では、腰椎椎間板の前方変性が原因となっている腰痛患者も存在する。そのような腰痛患者においては、体幹屈曲にて椎間板前方にストレスが生じて腰痛が増強する。したがって、このような腰痛患者に、体幹屈曲や体幹屈曲に反対側側屈を加えることによる腰背部筋のストレッチングを実施する際には配慮が必要となる。

## VIII. おわりに

これまでの研究により、腰痛患者や腰痛既往者における腰背部筋の筋硬度増加や、腰背部筋の筋硬度増加に対する理学療法について明らかとなった部分がある。しかし、腰痛発症や腰痛再発の原因が様々であることは、臨床場面での理学療法の評価を困難にする。また、腰痛発症や腰痛再発の原因によって、腰痛患者や腰痛既往者はいくつかのサブタイプに分かれる。腰痛を改善し、腰痛再発を予防するためには、腰痛患者、腰痛既往者においてやみくもに同様の理学療法を実施することとは避けるべきである。椎体や神経、椎間板、椎間関節、靭帯、腰背部筋といった原因によって腰痛発症や腰痛再発につながっているか十分に評価し、サブタイプや患者に応じて理学療法を実施する必要がある。また、原因によって分類した、腰痛患者や腰痛既往者のサブタイプに基づいた理学療法による介入研究によって、効果を検証していくことが今後求められている。

## 【文献】

- 1) 正木光裕：脊柱の運動学。身体運動学 関節の制御機構と筋機能，第1版(市橋則明編)，MEDICAL VIEW，東京，2017，pp. 339-382。
- 2) Ng JK, Richardson CA, et al.: EMG activity of trunk muscles and torque output during isometric axial rotation exertion: a comparison between back pain patients and matched controls.

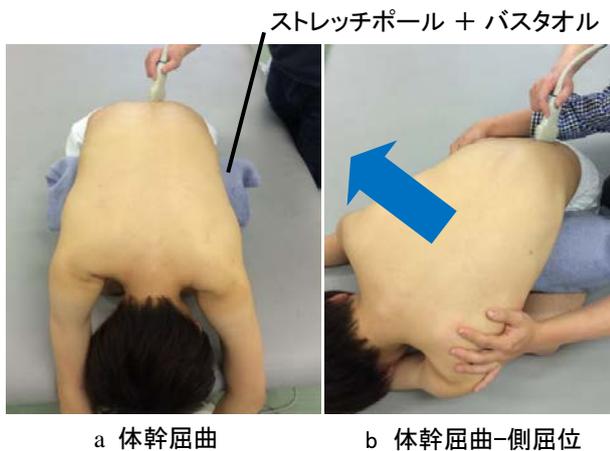


図2. 腰背部筋のストレッチング

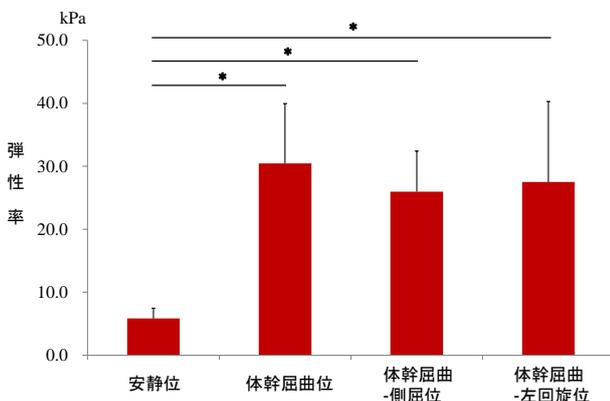


図3. 各体幹肢位における腰部多裂筋の弾性率

- J Orthop Res. 2008; 20 (1) : 112-121.
- 3) Pirouzi S, Hides J, et al.: Low back pain patients demonstrate increased hip extensor muscle activity during standardized submaximal rotation efforts. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006; 31 (26) : E999-E1005.
  - 4) van der Hulst M, Vollenbroek-Hutten MM, et al.: Lumbar and abdominal muscle activity during walking in subjects with chronic low back pain: support of the “guarding” hypothesis? *J Electromyogr Kinesiol*. 2010; 20 (1) : 31-38.
  - 5) MacDonald D, Moseley GL, et al.: Why do some patients keep hurting their back? Evidence of ongoing back muscle dysfunction during remission from recurrent back pain. *Pain*. 2009; 142 (3) : 183-188.
  - 6) MacDonald D, Moseley GL, et al.: People with recurrent low back pain respond differently to trunk loading despite remission from symptoms. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010; 35 (7) : 818-824.
  - 7) Masaki M, Tateuchi H, et al.: Back muscle activity and sagittal spinal alignment during quadruped upper and lower extremity lift in young men with low back pain history. *Gait Posture*. 2018; 66: 221-227.
  - 8) Tsao H, Druitt TR, et al.: Motor training of the lumbar paraspinal muscles induces immediate changes in motor coordination in patients with recurrent low back pain. *J Pain*. 2010; 11 (11) : 1120-1128.
  - 9) Masaki M, Tateuchi H, et al.: Electromyographic analysis of training to selectively strengthen the lumbar multifidus muscle: effects of different lifting directions and weight loading of the extremities during quadruped upper and lower extremity lifts. *J Manipulative Physiol Ther*. 2015; 38 (2) : 138-144.
  - 10) Aubry S, Risson JR, et al.: Biomechanical properties of the calcaneal tendon in vivo assessed by transient shear wave elastography. *Skeletal Radiol*. 2013; 42 (8) : 1143-1150.
  - 11) Maïsetti O, Hug F, et al.: Characterization of passive elastic properties of the human medial gastrocnemius muscle belly using supersonic shear imaging. *J Biomech*. 2012; 45 (6) : 978-984.
  - 12) Koo TK, Guo JY, et al.: Relationship between shear elastic modulus and passive muscle force: an ex-vivo study. *J Biomech*. 2013; 46 (12) : 2053-2059.
  - 13) Ateş F, Hug F, et al.: Muscle shear elastic modulus is linearly related to muscle torque over the entire range of isometric contraction intensity. *J Electromyogr Kinesiol*. 2015; 25 (4) : 703-708.
  - 14) Masaki M, Aoyama T, et al.: Association of low back pain with muscle stiffness and muscle mass of the lumbar back muscles, and sagittal spinal alignment in young and middle-aged medical workers. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2017; 49: 128-133.
  - 15) Lin YH, Chen CS, et al.: Geometric parameters of the in vivo tissues at the lumbosacral joint of young Asian adults. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001; 26 (21) : 2362-2367.
  - 16) McGill SM, Santaguida L, et al.: Measurement of the trunk musculature from T5 to L5 using MRI scans of 15 young males corrected for muscle fibre orientation. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 1993; 8 (4) : 171-178.
  - 17) Bergmark A.: Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. *Acta Orthop Scand Suppl*. 1989; 230: 1-54.
  - 18) Ng J, Richardson C.: EMG study of erector spinae and multifidus in two isometric back extension exercises. *Aust J Physiother*. 1994; 40 (2) : 115-121.
  - 19) Masaki M, Ikezoe T, et al.: Association of pain history and current pain with sagittal spinal alignment and muscle stiffness and muscle mass of the back muscles in middle-aged and elderly women. *Clin Spine Surg*. 2019; 32 (7) : E346-E352.
  - 20) Pennick V, Liddle SD.: Interventions for preventing and treating pelvic and back pain in pregnancy. *Cochrane Database Syst Rev*, 2013; CD001139.
  - 21) Furlan AD, Giraldo M, et al.: Massage for low-back pain. *Cochrane Database Syst Rev*, 2015; CD001929.
  - 22) Masaki M, Ji X, et al.: 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*. 2019; 119 (5) : 1085-1091.
  - 23) Maganaris CN, Baltzopoulos V, et al.: In vivo measurement-based estimations of the human Achilles tendon moment arm. *Eur J Appl Physiol*. 2000; 83 (4-5) : 363-369.

24) Sherman KJ, Cherkin DC, et al.: Comparison of yoga versus stretching for chronic low back pain: protocol for the Yoga Exercise Self-care (YES) trial. *Trials*. 2010; 11: 36.

25) Moore A, Mannion J, et al.: The efficacy of surface electromyographic biofeedback assisted stretching for the treatment of chronic low back pain: a case-series. *J Bodyw Mov Ther*. 2015; 19 (1) : 8-16.