

# 博士学位論文審査要旨

2023年7月12日

論文題目： **Acute and chronic effects of resistance training on passive stiffness of the hamstring muscles**  
(レジスタンストレーニングがハムストリングスの受動的な硬さに及ぼす急性的・慢性的影響)

学位申請者： 川間 羅聖

審査委員：

主査： スポーツ健康科学研究科 教授 北條 達也  
副査： スポーツ健康科学研究科 教授 竹田 正樹  
副査： スポーツ健康科学研究科 教授 中村 康雄

要旨：

レジスタンストレーニングは、スポーツやリハビリテーションの現場で筋力・筋サイズの増加を目的として広く採用されている。一方、レジスタンスエクササイズは受動的な筋の硬さを急性的に変化させると報告されているが、研究間でプログラムを構成する変数（収縮様式・動作範囲・筋長・動作時間）が異なるため一致した見解が得られていない。さらに、レジスタンストレーニングが受動的な筋の硬さに及ぼす影響についても十分に検討されていない。

本論文では、レジスタンストレーニングがハムストリングスの受動的な硬さに及ぼす急性的・慢性的影響を明らかにすることを目的として、受動的な筋の硬さ（剛性率）を定量的に評価できる超音波せん断波エラストグラフィを活用して3つの研究を実施した。

Chapter 2では、レジスタンスエクササイズにおける「収縮様式」と「動作範囲」との異なる組み合わせがハムストリングスの受動的な硬さに及ぼす急性的影響を検討した。その結果、「伸張性収縮」かつ「広い動作範囲」の組み合わせによって、半膜様筋の剛性率が即時的に有意に減少した。

Chapter 3では、受動的な筋の硬さをさらに大きく急性的に減少させるプログラム変数の組み合わせを追求するために、伸張性収縮のみを用いたレジスタンスエクササイズにおける「筋長」と「動作時間」との異なる組み合わせがハムストリングスの受動的な硬さに及ぼす急性的影響を検討した。その結果、「長い筋長」かつ「長い動作時間」の組み合わせによって、半膜様筋の剛性率が即時的に有意に減少した。この減少量は、Chapter 2の「伸張性収縮」かつ「広い動作範囲」の組み合わせによる半膜様筋の剛性率の減少量よりも大きかった。

Chapter 4では、「伸張性収縮」かつ「長い動作範囲」かつ「長い動作時間」の組み合わせによる10週間のレジスタンストレーニングがハムストリングスの受動的な硬さに及ぼす慢性的影響を検討した。その結果、トレーニング群では、等尺性最大筋力とハムストリングスの二関節筋における体積が増加した一方、いずれの筋においても剛性率の有意な変化は認められなかった。

本研究は、レジスタンスエクササイズにおける「長い筋長」かつ「長い動作時間」の組み合わせは特定の筋の硬さを即時的に減少させるために重要であること、「長い筋長」かつ「長い動作時間」による伸張性レジスタンストレーニングでさえハムストリングスにおける二関節筋の硬さを

変化させないことを示した初めての報告であり、身体運動における筋の硬さの可塑性を理解する上で基礎的かつ重要な知見として、高く評価できる。

以上より、本論文は、博士（スポーツ健康科学）（同志社大学）の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。

## 総合試験結果の要旨

2023年7月12日

論文題目： Acute and chronic effects of resistance training on passive stiffness of the hamstring muscles  
(レジスタンストレーニングがハムストリングスの受動的な硬さに及ぼす急性的・慢性的影響)

学位申請者： 川間 羅聖

審査委員：

主査： スポーツ健康科学研究科 教授 北條 達也  
副査： スポーツ健康科学研究科 教授 竹田 正樹  
副査： スポーツ健康科学研究科 教授 中村 康雄

要 旨：

本論文提出者（川間羅聖氏）は、2021年4月より本学大学院スポーツ健康科学研究科スポーツ健康科学専攻博士課程（後期課程）に在学し、各年度において優れた研究成果を挙げている。英語の語学試験にも合格しており、研究に必要な語学能力を十分に有すると認定できる。

提出された博士論文を構成する2つの研究成果（Chapter 2 & 3）は *European Journal of Applied Physiology* に筆頭著者として掲載された。Chapter 4 の研究成果についても投稿準備中であるとしている。

2023年7月12日15時30分より約50分にわたり博士論文最終審査会（公聴会）が開催され、対面による口頭発表の後に質疑討論がなされたが、質問に対して適切に応答することができ、テーマであるレジスタンストレーニングが筋スティフネスに及ぼす急性的・慢性的影響に関する十分な理解をもっているものと判定した。また、博士論文審査・検討委員会において審査委員から論文内容及びこれらに関連する諸問題について約2時間にわたり口頭試問を実施した結果、本論文提出者は研究者として十分な学力を有することが認められた。

よって、総合試験の結果は合格であると認める。

# 博士学位論文要旨

Abstract of Doctoral Dissertation

論文題目: Acute and chronic effects of resistance training on passive stiffness of the hamstring  
Title of Doctoral Dissertation muscles  
(レジスタンストレーニングがハムストリングスの受動的な硬さに及ぼす急性的・慢性的影響)

氏名: 川間 羅聖  
Name

要旨:  
Abstract

## Chapter 1 General introduction

Resistance training has been reported to acutely and chronically influence passive muscle stiffness. Passive muscle stiffness is a determinant of joint range of motion (ROM) that can influence athletic performance and the risk of musculoskeletal injuries. Thus, it is important to understand the resistance training-induced changes in the muscle stiffness. However, no consensus has been reached regarding the acute changes in muscle stiffness by resistance exercise, possibly due to the difference in program variables (e.g., contraction mode, exercise ROM, muscle lengths, and exercise duration) among previous studies. Moreover, limited studies have investigated the chronic changes in the muscle stiffness by resistance training.

The general purpose of the present thesis was to clarify the acute and chronic effects of resistance training on the passive stiffness of the hamstring muscles. To this end, I investigated the acute changes in the passive stiffness of the biarticular hamstring muscles (biceps femoris long head, BFlh; semitendinosus, ST; semimembranosus, SM) after resistance exercise with different combinations of contraction modes and exercise ROMs in Chapter 2, and different combinations of muscle lengths and exercise durations in Chapter 3. Through the experiments in Chapters 2 to 3, the combination of program variables that could greatly decrease passive muscle stiffness was selected. The selected program variables in resistance exercise were used to investigate the training-induced chronic changes in the passive stiffness of the biarticular hamstring muscles in Chapter 4.

## Chapter 2 Acute changes in passive stiffness of the biarticular hamstring muscles induced by resistance exercise: effects of contraction mode and range of motion

Thirteen healthy young male participants performed three sessions of resistance exercises consisting of stiff-leg deadlift (SDL) with different contraction modes and exercise ROMs on separate days as follows: (1) eccentric contractions with a wide exercise ROM (EW); (2) eccentric contractions with a narrow exercise ROM (EN); and (3) concentric contractions with a wide exercise ROM (CW). Before and 3 min, 30 min, and 60 min after completion of each session, the shear moduli (index of passive muscle stiffness) of the biarticular hamstring muscles were measured with using an ultrasound shear wave elastography. Additionally, maximal joint ROM, passive torque, and maximal isometric torque of knee flexion were measured. The main results were that the shear modulus of SM was significantly lower at 3 min post-exercise (median value [interquartile range]; 120.2 [114.9 to 135.47] kPa) than at pre-exercise (130.3 [123.7 to 142.2] kPa) in EW, but not in EN or CW. There were no significant changes in the shear moduli of BFlh or ST at any time points in any exercise sessions. The results suggest that the combination of eccentric contractions and a wide ROM during resistance exercise is important to acutely decrease passive stiffness of a specific muscle.

### **Chapter 3 Acute changes in passive stiffness of the biarticular hamstring muscles induced by resistance exercise: effects of muscle length and exercise duration**

Thirteen healthy young male participants performed three sessions of eccentric-only resistance exercise consisting of SDL with different muscle lengths and exercise durations (duration per repetition  $\times$  the total number of repetitions) on separate days as follows: (1) short muscle lengths with a short duration (SS); (2) long muscle lengths with a short duration (LS); and (3) long muscle lengths with a long duration (LL). The measurement variables and time points were the same as the experiment in Chapter 2. The main results were that SM shear modulus was significantly lower at 3 min post-exercise (128.1 [120.2 to 136.1] kPa) than at pre-exercise (135.2 [129.0 to 140.5] kPa) in LL, but not in SS or LS. The magnitude of decrease in the shear modulus of SM was greater in LL (-11.3 [-15.2 to -2.6] kPa) of Chapter 3 than in EW (-5.5 [-13.3 to -1.9] kPa) of Chapter 2. No significant differences were observed in the shear moduli of BF<sub>lh</sub> or ST between pre-exercise and 3 min post-exercise in any sessions. These results suggest that the combination of long muscle lengths and a long duration during eccentric-only resistance exercise has great potential for acutely decreasing passive stiffness of a specific muscle.

### **Chapter 4 Chronic effects of resistance training on passive stiffness of the biarticular hamstring muscles**

Twenty-four participants were divided into the training (n = 12) and control (n = 12) groups. The participants in the training group performed three sets of 10 repetitions of eccentric-only SDL with LL for 10 weeks (two sessions per week). Meanwhile, the participants in the control group did not perform any resistance training or stretching for the lower limb muscles throughout the intervention period. The maximal ROM, passive torque, shear moduli of the biarticular hamstring muscles, maximal isometric torque of knee flexion, and volumes of the individual hamstring muscles (BF<sub>lh</sub>; biceps femoris short head; ST; SM; whole hamstrings) were measured before and after the intervention period. During the intervention period, two participants in the training group and one participant in the control group dropped out of this experiment. The main results were that shear moduli of the biarticular hamstring muscles did not significantly change after the intervention period in the training or control groups. Meanwhile, maximal isometric torque of knee flexion and muscle volumes of BF<sub>lh</sub>, ST, SM, and whole hamstrings were significantly increased after the intervention period in the training group. The results suggest that the passive stiffness of the biarticular hamstring muscles does not change even after eccentric-only resistance training with LL.

### **Chapter 5 General discussion**

The present thesis showed SDL with EW and LL immediately decreased the shear modulus of SM, whereas that with EN, CW, SS, or LS did not acutely change the shear moduli of any of the biarticular hamstring muscles. Moreover, the magnitude of the immediate decrease in SM shear modulus was greater after SDL with LL than after SDL with EW. These results suggest that the combination of long muscle lengths and a long exercise duration during resistance exercise is important to immediately decrease the passive stiffness of a specific muscle. Meanwhile, a 10-week training intervention using eccentric-only SDL with LL did not change the shear moduli of any of the biarticular hamstring muscles. This result implies that even eccentric-only resistance training at long muscle lengths with a long exercise duration does not chronically change passive stiffness of the biarticular hamstring muscles.