

2023年度 博士学位論文

スポーツ競技者におけるハムストリングス肉離れ  
の再受傷の発症機序解明

東亜大学大学院 総合学術研究科

専攻 人間科学専攻

氏名 河合 智則

## 目次

第1章 序論	P1
第2章 研究課題1の方法、結果及び考察	P4
第3章 研究課題2の方法、結果及び考察	P10
第4章 研究課題3の方法、結果及び考察	P15
第5章 総括	P20
参考文献	P21
図の説明、図表	P38

## 第 1 章 序論

### 1-1. 研究の背景

肉離れ(Muscle strain injury)は筋組織の挫傷と定義され、スポーツ競技等の激しい運動中の筋への過剰な伸張性負荷により生じる(Noonan & Garrett, 1999; McHug & Tyler, 2019)。肉離れはサッカー、ラグビー、バスケット、陸上等のスポーツ競技で発症しやすく、ハムストリングス(大腿二頭筋、半腱・半膜様筋で構成される大腿後面の協働筋群)、大腿直筋、腓腹筋、長内転筋等の下肢筋群で生じる(Garrett, 1996; Järvinen et al., 2000; Delos et al., 2013; Green & Pizzari, 2017; Isern-Kebuschull et al., 2020; Palermi et al., 2021; Lu et al., 2022)。その中でハムストリングスの肉離れ(Hamstrings Strain Injury: HSI)はあらゆるスポーツ競技種目において共通に生じる障害の一つであり、スプリントやキック等の過度な筋肉の伸張性収縮を伴う動作により、過大な力学的負荷が筋に加わり生じる(Sherry, 2012; Dalton et al., 2015; Yu et al., 2017; Kerin et al., 2022; Robles-Palazón et al., 2022)。HSI はトレーニング及び試合機会の大きな損失のみならず日常生活の質を低下させることが報告されていることから(Dalton et al., 2015)、HSI はスポーツ競技の障害の中で重要な問題となっており、有効な予防法が必要とされている。

HSI の発症要因として同障害の既往歴が大きく関与する(Engebretsen et al., 2010)。HSI は初期受傷から 2 年以内に再発率 14-63%と極めて高く、競技復帰 1 ヶ月以内に 59%が再発する(Ernlund & Vieira, 2017)。また再受傷から競技復帰までに要するリハビリ期間は初期受傷からの競技復帰と比較し長いことが報告されている(Brooks et al., 2006)。しかし、HSI の既往歴が HSI 再受傷に関与する機序は

明らかにされていない。また HSI の再受傷の要因として筋力低下、疲労、大腿四頭筋とハムストリングスの筋力バランス等の **modifiable risk factor** が関与することが示唆されている(Erickson & Sherry, 2017)。しかし、**modifiable risk factor** に基づくリハビリテーションプログラムの実施及び競技復帰基準の適用がこれまで行われてきたが (Erickson & Sherry, 2017)、再受傷率は 20-30 年間改善していない(Orchard et al., 2013; Werner et al., 2009)。また初期筋損傷後に筋組織が癒痕化及び線維化することが報告されており(Nikolaou et al., 1987; Yoshida et al., 2019)、HSI 再受傷は、初期の受傷による筋形態・機能変化が持続した状態で早期競技復帰したためと示唆されている。しかし、ハムストリング受傷した競技者は MRI により損傷後及び競技復帰時に筋の線維化が認められたが、線維化と再受傷の発症との間に関連は認められなかった(Reurink et al., 2015)。また MRI のみならず超音波画像診断でも再受傷の発症リスクを予測することができないことが報告されている(De Vos et al., 2014; Koulouris et al., 2007)。以上から、HSI 再受傷の発症機序は明らかにされておらず、特に HSI の既往歴が再受傷に関与する要因は明らかにされていない。

肉離れを受傷したスポーツ競技者では筋組織のみならず筋膜を含む結合組織の損傷が認められている(Wilke et al., 2019)。筋膜は皮下で筋や他の内部器官を結びつけ、包み、分けている鞘やシートのような剥離可能な結合組織の集合体であり、浅筋膜、深筋膜、筋外膜、筋周膜、筋内膜に分類される(Stecco & Schleip, 2016)。筋膜は線維芽細胞等の細胞成分と細胞間質(細胞外マトリックス)で構成され、神経や血管が豊富に存在している。細胞間質はコラーゲンやエラスチン等の線維成分及びヒアルロン酸を含むグリコサミノグリカンやプロテオグリカンの基質成

分で構成される(Zügel et al., 2018; Blottner et al., 2019)。スポーツなどの過度で継続的な機械的ストレスもしくは外傷により筋膜組織が損傷すると筋膜は修復及びストレスに適用するため形態及び形状を変化させる(Zügel, 2018; Kodama et al., 2023)。また筋外膜には振動覚、位置覚及び運動覚の深部感覚を含む感覚情報を受容する機械受容器が豊富に存在しており(Kumka & Bonar, 2012)、損傷により深部感覚の異常が生じることが示唆されている(Langevin, 2021)。さらに、深部感覚の障害は、平衡機能の調節異常をもたらす。以上から HSI の再受傷の発症機序として、HSI の初期受傷により筋外膜の形態・形状変化及びそれにともなう感覚障害と平衡機能の調節異常が生じ、それら変化や感覚障害が競技復帰後も継続して存在するため復帰後の運動時に患部に強い機械的ストレスが負荷されることで再受傷するという仮説を立てた。そこで本研究では 3 つの研究課題から本仮説を検証した。

## 1-2.目的

本研究はスポーツ競技者における HSI の再受傷の発症機序を明らかにするため、スポーツ競技者を対象に 1) 超音波剪断波エラストグラフィ(Shear Wave Elastography: SWE)を用いたハムストリングの筋・筋膜組織硬度、2) 音叉を用いた振動感覚、3) 運動負荷前後の尿中タイチン濃度を測定し、ハムストリングスを含む下肢の筋肉離れの既往歴の有無で比較・検討した。

## 第 2 章 研究課題 1

### 序論

肉離れを受傷したスポーツ競技者では筋組織のみならず筋膜を含む結合組織の損傷が認められている(Wilke et al., 2019)。筋膜を含む筋構造の微細損傷によるカルシウム恒常性の異常により筋の過剰収縮や炎症性因子や血管作動性因子の放出による筋内圧の上昇により筋組織の硬度が増加することが示唆されている(Best & Hunter, 2000; Smith et al., 2008)。また超音波 B モード及び超音波 SWE により下腿筋筋損傷患者の治癒過程における筋構造・性状変化を検討した研究によると損傷後 8,12 週において癒痕組織の厚さが増大及び筋組織硬度が増加することが報告された(Yoshida et al., 2019)。また筋組織硬度が高いほど、運動後の筋損傷の度合いが高いことが報告されている(Xu et al., 2019)。一方、組織損傷を生じる運動後に深層の筋膜(深筋膜)の硬度が増加することが報告されている(Wilke et al., 2022)。また、筋膜は、機械的ストレスによりその線維成分は実質的に変化しないが、機械的ストレスに適応するようにその硬度、大きさが変化することが示唆されている(Reeves & Narici, 2003)。このことから HSI 既往歴を有する競技者では、MRI では認められ難い筋膜の微細損傷や筋膜硬化が残存していることが示唆される。これら筋膜異常により深部感覚障害及び平衡機能の調節障害が生じ、それにより再運動時には既往歴のある患肢に強い運動ストレスが負荷されて再受傷することが示唆される。しかし、HSI 既往歴を有する競技者の筋膜の組織硬度を検討した報告はされていない。そこで研究課題 1 では超音波剪断波エラストグラフィ(Shear Wave Elastography: SWE)により HSI 既往歴を有するスポーツ競技者の患側部及び健側

部のハムストリングスの筋及び深筋膜を含む筋膜領域(深筋膜領域)の組織硬度を比較・検討した。

## 方法

### 被験者

本研究課題では、ジャパンラグビートップリーグの加盟チームに所属し、片側 HSI の既往歴を有する選手 11 名を対象とした。選択基準は、HSI 発症時に MRI にてハムストリングスに中～広範囲の筋膜または筋組織を含めた損傷が認められ、発症から最低 6 週間以上経過した者とした。除外基準は、1)現在、他の筋骨格系障害を有する者、2)内臓疾患を有する者、および 3)精神疾患を有する者とした。本研究は甲南病院及び東亜大学の倫理委員会から承認を得ており、本研究に参加したすべての被験者に対して本研究の内容を説明し、書面にて同意を得た後、実験を遂行した。

### 研究手順

実験はシーズン中のリーグ中断期間に行った。被験者はマッサージベッド上で安静臥位にて、ハムストリングスの過度の伸展を防ぐため膝関節屈曲 5°の状態にて測定した。まず、測定前に被験者の HSI 受傷直後の MRI 画像からハムストリングス損傷部位を同定し、同部位(患側)および同部位に相当する対側(健側)のハムストリングスを SWE の測定部位とした。ついで、2 年以上の SWE 診断経験を有する測定者が被験者の両側ハムストリングス測定部位の筋および深筋膜領域の組織弾性

率を SWE により測定した。

### **MRI 画像に基づくハムストリングス組織損傷部位の同定**

整形外科医及び放射線科医の 2 名が先行研究(Verrall, 2006)に基づき被験者の HSI 受傷直後に撮影したハムストリング領域の冠状断面及び横断面の MRI 画像からハムストリングス損傷部位を同定し、冠状断面における損傷部位の長さ(HSI 損傷長)及び横断面における損傷部位の横断面積を計測した。

ハムストリングス損傷部位の同定としては、筋損傷の診断鑑別で用いられる T2 信号を指標とし、まず冠状断面の MRI 画像から T2 信号がもっとも広範囲に高値を示す筋組織領域を同定した。次のその領域に該当する MRI 画像の横断面を選択し、横断面から領域内で T2 信号がもっとも高い領域を筋損傷部位と定義し、SWE 測定部位とした。測定者 2 名の検出結果が一致しない場合は、協議し結果を一致させた。ハムストリングス損傷部位の冠状断面の解析では、冠状断面の MRI 画像からハムストリングス損傷部位の頭尾方向の距離(HSI 損傷長)を計測した。また横断面の MRI 画像から損傷部位と全断面積の割合を算出した。

### **SWE 測定**

SWE(Aixplorer、SuperSonic Imagine 社製)を用い、ハムストリングスの損傷部位及び対側健常部位における深筋膜領域及び筋組織の組織弾性率を測定した。患側のハムストリングスの損傷部位の組織弾性率計測では測定プローブ(50-mm-long SL-10-2 liner transducer)を MRI 画像により同定した筋損傷部位の中心点上に測

定プローブの中心が位置するように設置した。一方、健常側の組織弾性率計測では SWE 計測プローブを健側のハムストリングス上に患側の測定プローブと同じ位置になるよう設置した。測定では、まず深筋膜領域及び筋肉の形状及び計測地点を確認するため B モードにより画像を撮像した。次に SWE モードによりハムストリングスの組織剪断係数を計測した。組織弾性率は、剪断係数からキロパスカル(kPa)の単位で算出した。プローブの固定による技術的な誤差を最小化するために、SWE による計測を3回繰り返した。

### 筋膜及び筋の組織弾性率の評価

深筋膜領域及び筋の組織剪断係数は、Aixplorer scanner software(Q box; version 7.0; Supersonic Imagine, Aix-en-Provence, France)を用いて計測した。まず B モード撮影画像に基づいて評価領域(ROI)を設定した。深筋膜領域では、3 部位(損傷部位中央と中央部から尾側及び頭側部位)の 5 mm<sup>2</sup>をそれぞれ計測し、その平均値を算出した。筋の測定では、筋肉量に基づき、表皮下 2-2.1cm で 10 mm<sup>2</sup>の円状領域を設定して剪断係数を計測した。

### 解析

測定値は平均値±標準偏差で表記した。統計解析として損傷部位と健側部位の深筋膜領域及び筋の組織弾性率をそれぞれ paired T-Test により比較した。また損傷部位の深筋膜領域及び筋の組織弾性率と MRI 画像解析による損傷部位の長さ  
と範囲、そして年齢との相関性を Pearson correlation coefficient により解析した。デ

一タ解析は SPSS25.0 (IBM 社)を用い、 $P < 0.05$  を有意判定とした。

## 結果

表 1 は、被験者 11 名の臨床情報(年齢、BMI、HSI 損傷横断面積、HSI 損傷長)を示す。これら被験者の全員が発症直後の MRI 検査で HSI の損傷程度が Grade 2(筋組織の部分的断裂)以上と診断され(Clanton & Coupe, 1998)、ハムストリングスに痛みを有さず競技復帰していた。

図 1 は患側と健側部におけるハムストリングスの深筋膜領域及び筋組織の組織弾性率の比較を示す。患側部のハムストリングスの筋膜組織の弾性率は健側部と比較して有意に高値を示したが(paired T-Test、 $P < 0.05$ )、筋組織においては両側間で弾性率の違いは認められなかった(paired T-Test、 $P > 0.05$ )。

表 2 は、損傷部位の深筋膜領域及び筋の組織弾性率と年齢、MRI 画像解析による損傷部位の範囲と長さとの関連性を示す。深筋膜領域及び筋の組織弾性率と年齢、MRI 画像解析による損傷部の横断面積と損傷長との間に有意な相関関係は認められなかった ( $P < 0.05$ )。

## 考察

本研究により、HSI既往歴を有する被験者の受傷部位の深筋膜領域の組織弾性率は健側部と比較して有意に高値を示したが、筋組織の組織弾性率は患側-健側間で有意差は認められなかった。また受傷部位の深筋膜領域及び筋組織の組織弾性率とMRI画像解析による受傷直後のハムストリングス損傷部の横断面積及び損傷長との間に有意な相関関係は認められなかった。

肉離れでは筋組織のみならず筋膜組織も損傷しており、筋膜組織の損傷は回復に時間を要し、競技復帰期間の延長に關与する(Werner et al., 2017; Prakash et al., 2018; Renoux et al., 2019)。また動物実験においても肉離れによる筋膜組織損傷の回復は筋組織より遅く、慢性期において顕微鏡下で筋組織の線維芽細胞の残存、筋膜組織の形態変化の持続(筋膜の肥厚)及び炎症の残存が報告されている(Abu Elwafa et al., 2022)。筋膜の中でも深筋膜は、コラーゲンが密に配列される密性結合組織層とヒアルロン酸を主成分とする水溶液状の疎性結合組織層の多層構造となっており、特にヒアルロン酸が集中して存在している(McCombe et al., 2001; Pratt et al., 2021)。ヒアルロン酸は損傷及び炎症によるpH低下により断片化して蓄積され、筋膜組織の粘性及び硬度を増加させることが示唆されている(Gatej et al., 2005; Lee-Sayer et al., 2015; Cowman et al., 2015)。筋膜組織の断片化及び蓄積は結合組織と筋との間の滑走性を減少させ、筋膜及び筋膜周囲の組織層に強い機械的ストレスが生じて組織損傷しやすくなることが示唆されている(Cowan et al., 2015; Pratt et al., 2021)。さらに慢性的に機械的ストレスがかかる部位では筋膜の組織硬度が増加することが報告されている(Shiotani et al., 2021)。以上の先行研究および本研究結果から、HSI受傷では、筋膜組織の損傷及び炎症による深筋膜領域の硬度変化が長期にわたり遷延して存在していることが示唆される。

本研究においてはHSI既往歴を有する競技者のハムストリングス患側部の筋組織硬度は健側部と比較して有意差が認められなかった。本研究と同様に、サッカー競技者を対象にスプリントを反復させた前後でハムストリングスの筋弾性率をSWEで測定・比較した研究では、HSI既往歴を有する選手(HSI発症から2年以内)及び

有さない選手間で筋弾性率に差が認められなかったことが報告されている(Pimenta et al., 2023)。これらのことから、HSI受傷から長期間経過したハムストリングスの筋硬度は健側部及び健常者と差が減少し、HSIの再受傷の要因とはならないことが示唆された。

本研究にはいくつかの限界がある。最も重要な問題点として被験者の数が少ない点である。次にMRI撮影はハムストリング損傷直後のみ行っており、本研究時には撮影していない点である。超音波では微細な組織変化を観察することができないため、ハムストリング損傷から長時間経過した後の筋膜・筋組織の形態変化をMRIで評価する必要がある。今後の研究では上記点を考慮し再度検証する必要があると考えられる。

### 第3章 研究課題2の方法、結果及び考察

#### 序論

HSI では筋線維のみならず筋膜の微小損傷が報告されている(Best & Hunter, 2000; Smith et al., 2008)。また、研究課題1により、HSI 既往歴を有する競技者では深筋膜領域の組織硬度変化が持続して存在していることが明らかになった。一方、深筋膜には振動覚、位置覚及び運動覚の深部感覚を受容する機械受容器が豊富に存在し(Kumka & Bonar, 2012)、とくに下肢の深部感覚は平衡機能に影響することが報告されている(Lord & Ward, 1994)。以上から、HSI 既往歴を有する競技者は

深筋膜の障害による機械受容器の機能異常が生じ、そのため深部感覚が変化して平衡機能が障害されることが示唆される。しかし、HSI 既往歴を有する競技者の深部感覚変化は明らかにされていない。研究課題 2 では HSI 既往歴を有するスポーツ競技者と既往歴を有さない競技者を対象にハムストリングス領域の組織硬度及び振動覚を組織硬度計及び音叉を用いて比較・解析した。

## 方法

### 被験者

本研究課題では、プロサッカーチームに所属する男性プロサッカー選手で HSI から競技復帰した 8 名(HSI 既往群)(年齢:25.88±1.53 歳、BMI:23.01±0.80、HSI 損傷側:優位側 5、非優位側 3)、および HSI の既往歴がない 8 名(健常群)(年齢 24.13±4.32 歳、BMI:22.91±0.48)を対象とした。HSI 損傷は受傷時に所属チームの医療班及び MRI 検査により診断した。本研究において HSI 既往歴群では HSI 損傷は大腿二頭筋損傷のみとした。また、両群とも内臓や精神疾患を罹患していない、また他の筋骨格系障害を有していない者を対象とした。本研究は東亜大学の倫理委員会から承認を得ており、本研究に参加したすべての被験者に対して本研究の内容を説明し、書面にて同意を得た後、実験を遂行した。

### 試験手順

被験者をマッサージベッド上で安静仰臥位にし、両側の大腿二頭筋の組織硬度を組織硬度計により、振動感覚閾値を音叉計により測定した。測定点は坐骨結節と

外側上顆を結んだ直線上で坐骨結節から 12.8cm 離れた地点を計測部位とした (van der Made et al., 2015)。

### 組織硬度測定

大腿二頭筋部位の組織硬度は Myoton®PRO (Myoton AS, Estonia)を用いて計測した。本装置は組織硬度計であり、生体組織の減衰自由振動を記録し、その加速度信号の形状から張力、生体工学や粘弾性の組織の性質を算出する (Gavronski et al 2007; Aird et al 2012)。すべての測定は、重力の影響を軽減するために機器を対象領域の皮膚に対して垂直に保持して行った。測定は 15 秒間隔で 3 回繰り返し、3 回の測定値の平均を算出した。

### 振動覚測定

振動覚は 128Hz Rydel-Seiffer 音叉(US Neurological LLC)を用いて測定した。試験者は音叉を非利き手で叩き、計測部位に当てた。その際、振動強度は音叉の目盛り 8 段階中の 8 に調整した。被験者には、片手にストップウォッチを保持させ、計測部に音叉を当てた後に振動覚の知覚開始時と知覚消失時にそれぞれストップウォッチのボタンを押すように指示した。測定は 15 秒のインターバルを挟み 3 回実施し、3 回の測定値の平均値を算出した(振動覚知覚時間)。

### 解析

測定値は、平均値±標準偏差で表記した。統計解析として HSI 既往歴群の患側と

健常群の利き足(優位側)及び非利き(非優位側)間の組織硬度及び振動覚を Unpaired t-test により比較した。また HSI 群の受傷側と非受傷側間の組織硬度及び振動覚知覚時間を Paired T-test により比較した。HSI 既往歴群における組織硬度及び振動覚知覚時間の患側部と健側部の比と年齢及びBMIの相関性を Pearson's correlation coefficient により解析した。データ解析は、SPSS 25.0 (IBM)を用い、 $P < 0.05$  を有意判定とした。

## 結果

HSI 既往歴群患側部の平均組織硬度は健常群の優位側及び非優位側と比較して有意に高値を示した(Unpaired T-test,  $P < 0.05$ )(図 2A,B)。また HSI 既往群において患側の平均組織硬度は健側と比較して有意に高値を示した(Paired T test,  $P < 0.01$ )(図 3)。

平均振動覚知覚時間は HSI 既往歴群において健常群の優位側及び非優位側と比較して有意に低値を示した(Unpaired T-test,  $P < 0.01$ )(図 4A,B)。同様に HSI 患者群において患側部の平均振動覚知覚時間は健側部と比較して有意に低値を示した(Paired T test,  $P < 0.01$ )(図 5)。

患者群の平均組織硬度及び平均振動覚知覚時間の患側と健側部の比と年齢及びBMIとの間には、有意な相関関係は認められなかった(Pearson's correlation test,  $P > 0.05$ )(表 3)。

## 考察

本研究により HSI 既往歴を有する者の患側部の平均組織硬度は健側及び健常者の優位・非優位側と比較して有意に高値を示した。同様に HSI 既往歴を有する者の患側部の平均振動覚知覚時間は健側部及び健常者の優位・非優位側と比較して有意に低値を示した。

研究課題 1 において、HSI 既往歴を有する競技者では深筋膜領域の組織硬度が高いことが判明している。また、先行研究において HSI 既往歴を有する競技者の患側部の筋膜組織の硬度は健側部と比較して有意に高いことが報告されている (Kawai et al., 2021)。HSI では筋線維のみならず筋膜の微小損傷が存在し (Best & Hunter, 2000; Smith et al., 2008)、筋膜損傷によりヒアルロン酸の形態変化が生じて、筋膜の組織硬度が増加することが示唆されている (Gatej et al., 2005; Cowman et al., 2015; Pratt et al., 2021)。これらのことから、本研究において HSI 既往歴を有する競技者の患側部の組織硬度増加は、筋膜部の組織硬度の増加に由来することが示唆される。

深筋膜には振動覚、位置覚及び運動覚の深部感覚を受容する機械受容器が豊富に存在する (Kumka & Bonar, 2012; Findley et al., 2013)。特に下肢の深部感覚と平衡機能には関連性があることが報告されている (Lord & Ward, 1994)。先行研究により、筋・筋膜損傷とともに末梢神経線維自体が損傷し、結合組織と同様に組織再生が進むことや (Menorca et al., 2013)、筋・筋膜損傷により末梢神経の伝導性が変化することが報告されている (Kouzaki et al., 2017)。これらのことから、HSI 損傷部位では、深筋膜損傷によるヒアルロン酸の形態変化が残存し、深筋膜の硬度増加とともに深部感覚機能が障害されることが推測される。さらに、これら深部感覚障害

により平衡機能が障害され、HSI 既往歴を有する患肢に強い機械的ストレスが負荷されて HSI 再受傷が生じやすくなることが示唆される。

本研究の限界を考察する。第一に被験者数が少ない点が挙げられる。本研究の健常競技者を対象としたが、ほとんどのプロスポーツ選手はキャリアの中で何度も負傷しているため該当する被験者を集めることが困難であった。次に振動覚の評価には実務性を考慮して現場にて実行しやすい音叉を選択したが、音叉を使った測定にはより測定精度を向上させた評価が必要である。最後に、皮膚の厚さは感覚神経の機能に影響を与える可能性があるが、本研究では計測日程の関係で皮膚の厚さは測定することができなかった。今後の研究として被験者数を増やし、実験プロトコールを見直し再度検討することが必要であると考えられる。

#### 第 4 章 研究課題 3 の方法、結果及び考察

タイチンは筋原線維の最小単位であるサルコメアの構造蛋白のひとつであり、収縮により短縮したサルコメアの長さを元に戻す役割や筋出力の調整機能を担うことから、筋収縮において重要な役割を担っている(Linke, 2018; Li et al., 2016)。筋損傷時においてタイチンはカルパインやマトリクス・メタロプロテナーゼ等のタンパク分解酵素により分解される (Leonard & Herzog, 2010)。これまで尿中のタイチン排泄量は筋損傷を起こす筋伸張性収縮により増加することが報告されており、近年、筋損傷の指標として用いられている(Kanda et al., 2017)。本研究課題 1-2 から HSI の既往歴を有するスポーツ競技者では HSI 受傷部の深筋膜領域の組織硬度変化が生

じており、それによる深部感覚障害/平衡機能の調節障害により運動時に強い機械的ストレスが負荷されて HIS 既往歴を有する患肢のハムストリングスが損傷しやすいことが示唆された。このことから研究課題3では HSI 既往歴を有するスポーツ競技者の運動負荷後の尿中タイチン濃度は健常競技者と比較して高いとする仮説を立て、下肢に肉離れ既往歴を有するスポーツ競技者及び健常競技者を対象に運動後の筋組織損傷を尿中タイチン濃度測定により検討した。

## 方法

### 被験者

本研究課題では、プロサッカーチームに所属する男性サッカー競技者で下肢の肉離れの既往歴がある 8 名(下肢の肉離れ既往歴群)と既往歴がない 8 名を対象とした(健常群)。下肢の肉離れ既往歴群において被験者の過去の下肢の肉離れ部位はハムストリングス 5 名、大腿直筋 2 名、下腿三頭筋 1 名であった。除外対象は、1)重度の内臓疾患や精神疾患の既往歴がある者、2)実験実施時に筋骨格系障害(靭帯損傷等)を有している者、及び 3)何らかの投薬を処方されている者とした。また、すべての被験者は試験実施時に筋・骨格系に傷害がなくトレーニングに参加できていることを確認した。本研究は、東亜大学倫理委員会による倫理的承認を得て(承認番号-2019-8)、参加者全員において研究前にインフォームド・コンセントを取得して行った。

### 試験手順

チームトレーニング前及びトレーニング終了 12 時間後に被験者全員から採尿した。被験者には、トレーニングの 72 時間前から激しい運動を避けるように指示し、その期間運動を控えさせた。チームトレーニングはスプリント、技術練習を含み平均ランニング距離:7~8km、平均スプリント回数:15 回であった。先行研究により尿中タイチン N フラグメント(Urinary titin N-terminal fragment: UTF)レベルは運動後 10 時間に最も高くなることが報告されており(Eckels, 2018)、本研究では2回目の採尿として睡眠時間を考慮しトレーニング終了後 12 時間後の起床時の初尿を被験者全員から採取した。採尿された尿サンプルは-20°Cに冷凍保存し、IBL 免疫生物学研究所に送付した。IBL 免疫生物学研究所では、所属の検査技術者が採取した尿サンプルを用いて酵素結合免疫吸着アッセイ(Enzyme-Linked Immunosorbent Assay: ELISA)を行い、トレーニング前後の UTF レベルを測定した。UTF レベルはクレアチン濃度を考慮し、以下の計算式によって算出した。

UTF レベル = 尿中タイチンフラグメント濃度 (pmol/L) / 尿中クレアチン濃度 (mg/dL)

## 統計解析

測定値は、平均値±標準誤差(Mean±SEM)で表記した。各測定値におけるデータ分布の正規性は Kolmogorov-Smirnov test により評価した。統計解析では、各群のベースラインの臨床所見(年齢、競技歴、身長、体重、BMI)を Unpaired T test により、運動前の UTF レベルを Mann-Whitney U test により比較した。各群における

運動前後の UTF レベルを Wilcoxon rank sum test により、また各群間の運動前後の UTF レベルの変化比(Post/ pre)を Unpaired T test により比較した。さらに運動前後の UTF レベルの変化比と臨床所見(年齢、身長、体重、BMI)との相関関係を Pearson correlation coefficient により、運動前後の UTF レベルの変化比と前回の負傷から現在までの期間との相関関係を Spearman rank correlation test により解析した。データ解析は、SPSS 26.0 (IBM)を用い、 $P < 0.05$  を有意判定とした。

## 結果

ベースラインの臨床所見(年齢、競技歴、身長、体重、BMI)及び運動前 UTF レベルにおいて両群間で有意差は認められなかった(表 4)。肉離れ既往歴群(18457.96±3615.54 to 115480.29±26462.36)、および健常群(23119.47±8107.72 to 46206.32±9833.77)ともに、運動前と比較し運動後に UTF レベルが有意に増加した(Wilcoxon rank sum test,  $P < 0.05$ )。さらに、肉離れ既往歴群の運動前後の UTF value の変化比は健常群と比較して有意に高値を示した (Unpaired T test,  $P < 0.05$ ) (図 6)。一方、運動前後の UTF レベルの変化比と臨床所見(年齢、身長、体重、BMI)との間に有意な相関関係は認められなかった(Pearson correlation test,  $P > 0.05$ )が、運動前後の UTF レベルと前回の負傷から現在までの期間との間に有意な正相関が認められた(Spearman rank correlation test,  $P < 0.05$ ) (表 5)。

## 考察

本研究により下肢の肉離れ既往歴を有する競技者及び健常競技者ともに運動前と比較して運動後 UTF レベルが有意に増加した。さらに、肉離れ既往歴を有する競技者の運動前後の UTF 値の変化比は健常競技者と比較して有意に高値を示した。また、運動前後の UTF レベルと前回の負傷から現在までの期間との間に有意な正相関が認められた。

筋損傷を起こす筋伸張性収縮後に尿中のタイチン排泄量が増加し、関節可動域及び筋力と関連することが報告されている(Leonard & Herzog, 2010; Kanda et al., 2017)。研究課題 1-2 により肉離れ既往歴を有する競技者の患側部では深筋膜領域の硬度変化が残存し、それに伴い深部感覚が障害されていることが判明している(Kawai et al., 2021)。これらのことから肉離れ既往歴を有する競技者では平衡機能が障害されており、運動により患側部に機械的ストレスがより強く負荷されて、筋組織がより強く損傷されることが示唆される。

本研究の限界点として次の点があげられる。1 つ目は尿採取のタイミングである。先行研究では健常者の運動後上昇した UTF 濃度は運動後 19 時間で低下し、運動後 66 時間で正常範囲に戻ることが報告されている (Maruyama et al., 2016)。そのため本研究では少なくとも 72 時間前から激しい運動を控えるよう被験者に指示したが UTF 濃度の上昇下降は個人差があるために誤差が生じた可能性がある。また本研究では、被験者により過去の受傷筋がハムストリングス、内転筋、腓腹筋と異なっていた。従って受傷筋の違いにより運動による組織損傷の程度に違いが生じた可能性がある。今後の研究では被験者の過去の損傷部位を統一して検討する必要がある。最後にトレーニング負荷はチームのコンディショニングコーチによって十

分にコントロールされたため、ほぼ同負荷であったと考えられるが、細かなトレーニング中の加速と減速の回数をコントロールすることはできなかった。以前の研究では、UTF の濃度が筋短縮性運動と筋伸張性運動で異なることが示されている (Yamaguchi, 2020)。したがって、トレーニングの負荷を完全にコントロールすることで、本研究の結果の信頼性が向上する可能性がある。

## 第 5 章 総括

本研究により HSI の既往歴を有する競技者では患側部の筋膜組織の硬度が健側部より有意に高く、また同部位の深部感覚が健側部及び健常者と比較して有意に低下していた。さらに HSI を含む下肢の肉離れの既往歴を有する競技者は運動後に筋損傷のバイオマーカーである尿中タイチン濃度が健常競技者と比較して有意に増加した。これらの結果より、HSI 既往歴を有する競技者では、1) 深筋膜の構造変化が残存している、2) 深筋膜に由来する深部感覚が障害され、平衡機能が障害される、及び 3) 平衡機能障害により、運動時に高強度の機械的ストレスが罹患部に負荷されて HSI が再発することが示唆された(図 7)。これまで HSI 再発の要因は明らかにされておらず、本研究によりその要因として筋膜が関与することが示唆された。HSI の再発を予防するため、今後は筋膜に着目しハムストリング受傷からの競技復帰の判断基準として筋膜の構造変化を観察し、筋膜に対する新たなリハビリテーションプログラムを考案することが必要になると示唆された。

## 参考文献

Noonan, T. J., & Garrett, W. E., Jr (1999). Muscle strain injury: diagnosis and treatment.

The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 7(4), 262–269.

McHugh, M. P., & Tyler, T. F. (2019). Muscle strain injury vs muscle damage: two

mutually exclusive clinical entities. Translational Sports Medicine, 2(3), 102-108.

Garrett W. E., Jr (1996). Muscle strain injuries. The American journal of sports

medicine, 24(6 Suppl), S2–S8.

Järvinen, T. A., Kääriäinen, M., Järvinen, M., & Kalimo, H. (2000). Muscle strain

injuries. Current opinion in rheumatology, 12(2), 155-161.

Delos, D., Maak, T. G., & Rodeo, S. A. (2013). Muscle injuries in athletes: enhancing

recovery through scientific understanding and novel therapies. Sports health, 5(4),

346–352. <https://doi.org/10.1177/1941738113480934>

Green, B., & Pizzari, T. (2017). Calf muscle strain injuries in sport: a systematic review of risk factors for injury. *British journal of sports medicine*, 51(16), 1189-1194.

Isern-Kebschull, J., Mechó, S., Pruna, R. et al. Sports-related lower limb muscle injuries: pattern recognition approach and MRI review. *Insights Imaging* 11, 108 (2020). <https://doi.org/10.1186/s13244-020-00912-4>

Palermi, S., Massa, B., Vecchiato, M., Mazza, F., De Blasiis, P., Romano, A. M., Di Salvatore, M. G., Della Valle, E., Tarantino, D., Ruosi, C., & Sirico, F. (2021). Indirect Structural Muscle Injuries of Lower Limb: Rehabilitation and Therapeutic Exercise. *Journal of functional morphology and kinesiology*, 6(3), 75. <https://doi.org/10.3390/jfmk6030075>

Lu, Y., Pareek, A., Lavoie-Gagne, O. Z., Forlenza, E. M., Patel, B. H., Reinholz, A. K., ... & Camp, C. L. (2022). Machine learning for predicting lower extremity muscle strain in National Basketball Association Athletes. *Orthopaedic Journal of Sports*

Medicine, 10(7), 23259671221111742.

Sherry M. Examination and treatment of hamstring related injuries. Sports Health.

2012 Mar;4(2):107-14.

Dalton SL, Kerr ZY, Dompier TP. Epidemiology of Hamstring Strains in 25 NCAA

Sports in the 2009-2010 to 2013-2014 Academic Years. Am J Sports Med. 2015

Nov;43(11):2671-9. doi: 10.1177/0363546515599631. Epub 2015 Sep 1.

Yu B, Liu H, Garrett WE. Mechanism of hamstring muscle strain injury in sprinting. J

Sport Health Sci. 2017 Jun;6(2):130-132.

Kerin, F., Farrell, G., Tierney, P., McCarthy Persson, U., De Vito, G., & Delahunt, E.

(2022). Its not all about sprinting: mechanisms of acute hamstring strain injuries in

professional male rugby union-a systematic visual video analysis. British journal of

sports medicine, 56(11), 608–615.

Robles-Palazón, F. J., Ruiz-Pérez, I., Aparicio-Sarmiento, A., Cejudo, A., Ayala, F., & Sainz de Baranda, P. (2022). Incidence, burden, and pattern of injuries in Spanish male youth soccer players: A prospective cohort study. *Physical therapy in sport : official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 56, 48–59.

Engebretsen AH, Myklebust G, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. Intrinsic risk factors for hamstring injuries among male soccer players: a prospective cohort study. *Am J Sports Med*. 2010 Jun;38(6):1147-53.

Ernlund L, Vieira LA. Hamstring injuries: update article. *Rev Bras Ortop*. 2017 Aug 1;52(4):373-382.

Brooks JH1, Fuller CW, Kemp SP, Reddin DB. Incidence, risk, and prevention of hamstring muscle injuries in professional rugby union. *Am J Sports Med*. 2006

Aug;34(8):1297-306.

Erickson LN, Sherry MA. Rehabilitation and return to sport after hamstring strain injury. *J Sport Health Sci.* 2017 Sep;6(3):262-270.

Orchard JW, Seward H, Orchard JJ. Results of 2 decades of injury surveillance and public release of data in the Australian Football League. *Am J Sports Med.* 2013 Apr;41(4):734-41.

Werner J, Hägglund M, Waldén M, Ekstrand J. UEFA injury study: a prospective study of hip and groin injuries in professional football over seven consecutive seasons. *Br J Sports Med.* 2009 Dec;43(13):1036-40.

Nikolaou PK, Macdonald BL, Glisson RR, Seaber AV, Garrett WE Jr. Biomechanical and Histological evaluation of muscle after controlled strain injury. *Am J Sports Med.* 1987 Jan-Feb;15(1):9-14.

Yoshida, K., Itoigawa, Y., Maruyama, Y., & Kaneko, K. (2019). Healing Process of Gastrocnemius Muscle Injury on Ultrasonography Using B-Mode Imaging, Power Doppler Imaging, and Shear Wave Elastography. *Journal of ultrasound in medicine : official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine*, 38(12), 3239–3246.

Reurink G, Almusa E, Goudswaard GJ, Tol JL, Hamilton B, Moen MH, Weir A, Verhaar JA, Maas M. No association between fibrosis on magnetic resonance imaging at return to play and hamstring reinjury risk. *Am J Sports Med*. 2015 May;43(5):1228-34.

De Vos RJ<sup>1</sup>, Reurink G<sup>2</sup>, Goudswaard GJ<sup>3</sup>, Moen MH<sup>4</sup>, Weir A<sup>3</sup>, Tol JL<sup>3</sup>. Clinical findings just after return to play predict hamstring re-injury, but baseline MRI findings do not. *Br J Sports Med*. 2014 Sep;48(18):1377-84.

Koulouris G1, Connell DA, Brukner P, Schneider-Kolsky M. Magnetic resonance imaging parameters for assessing risk of recurrent hamstring injuries in elite athletes. *Am J Sports Med.* 2007 Sep;35(9):1500-6. Epub 2007 Apr 10.

Wilke, J., Hespanhol, L., & Behrens, M. (2019). Is It All About the Fascia? A Systematic Review and Meta-analysis of the Prevalence of Extramuscular Connective Tissue Lesions in Muscle Strain Injury. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 7(12), 2325967119888500.

Stecco, C., & Schleip, R. (2016). A fascia and the fascial system. *Journal of bodywork and movement therapies*, 20(1), 139–140. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2015.11.012>

Kodama, Y., Masuda, S., Ohmori, T., Kanamaru, A., Tanaka, M., Sakaguchi, T., & Nakagawa, M. (2023). Response to Mechanical Properties and Physiological Challenges of Fascia: Diagnosis and Rehabilitative Therapeutic Intervention for Myofascial System Disorders. *Bioengineering*, 10(4), 474.

Zügel, M., Maganaris, C. N., Wilke, J., Jurkat-Rott, K., Klingler, W., Wearing, S. C., Findley, T., Barbe, M. F., Steinacker, J. M., Vleeming, A., Bloch, W., Schleip, R., & Hodges, P. W. (2018). Fascial tissue research in sports medicine: from molecules to tissue adaptation, injury and diagnostics: consensus statement. *British journal of sports medicine*, 52(23), 1497.

Blottner, D., Huang, Y., Trautmann, G., & Sun, L. (2019). The fascia: Continuum linking bone and myofascial bag for global and local body movement control on Earth and in Space. A scoping review. *Reach*, 14, 100030.

Kumka M, Bonar J. Fascia: a morphological description and classification system based on a literature review. *J Can Chiropr Assoc*. 2012 Sep;56(3):179-91.

Langevin, H. M. (2021). Fascia mobility, proprioception, and myofascial pain. *Life*,

11(7), 668.

Best TM, Huner KD. Muscle injury and repair. *Sci Pri Sports Rehab.* 2000; 11:251-267.

Smith C, Kruger MJ, Smith RM, Myburgh KH. The inflammatory response to skeletal muscle injury: illuminating complexities. *Sports Med.* 2008;38(11):947-69.

Xu J, Fu SN, Zhou D, Huang C, Hug F. Relationship between pre-exercise muscle stiffness and muscle damage induced by eccentric exercise. *Eur J Sport Sci.* 2019 May;19(4):508-516. doi: 10.1080/17461391.2018.1535625. Epub 2018 Oct 26.

Wilke, J., Schwiete, C., & Behringer, M. (2022). Effects of Maximal Eccentric Exercise on Deep Fascia Stiffness of the Knee Flexors: A Pilot Study using Shear-Wave Elastography. *Journal of sports science & medicine*, 21(3), 419–425.

Reeves, N. D., & Narici, M. V. (2003). Behavior of human muscle fascicles during shortening and lengthening contractions in vivo. *Journal of applied physiology*, 95(3), 1090-1096.

Clanton, T. O., & Coupe, K. J. (1998). Hamstring strains in athletes: diagnosis and treatment. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 6(4), 237–248. <https://doi.org/10.5435/00124635-199807000-00005>

Verrall, G. M., Slavotinek, J. P., Barnes, P. G., Fon, G. T., & Esterman, A. (2006). Assessment of physical examination and magnetic resonance imaging findings of hamstring injury as predictors for recurrent injury. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 36(4), 215-224.

Ewertsen, C., Carlsen, J. F., Christiansen, I. R., Jensen, J. A., & Nielsen, M. B. (2016). Evaluation of healthy muscle tissue by strain and shear wave elastography - Dependency on depth and ROI position in relation to underlying bone. *Ultrasonics*, 71,

127-133.

Werner, B. C., Belkin, N. S., Kennelly, S., Weiss, L., Barnes, R. P., Potter, H. G., Warren, R. F., & Rodeo, S. A. (2017). Acute Gastrocnemius-Soleus Complex Injuries in National Football League Athletes. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 5(1), 2325967116680344.

Renoux, J., Brasseur, J. L., Wagner, M., Frey, A., Folinais, D., Dibie, C., Maiza, D., & Crema, M. D. (2019). Ultrasound-detected connective tissue involvement in acute muscle injuries in elite athletes and return to play: The French National Institute of Sports (INSEP) study. *Journal of science and medicine in sport*, 22(6), 641–646.

Prakash, A., Entwisle, T., Schneider, M., Brukner, P., & Connell, D. (2018). Connective tissue injury in calf muscle tears and return to play: MRI correlation. *British journal of sports medicine*, 52(14), 929–933.

Abu Elwafa, N.; Mohammad, T.; Wageh, H.; Elias, M. M.; Nabhan, M.; Salah Hassan, N.; Rehan Youssef, A. Fascia Healing after Induced Tibialis Anterior Muscle Strain: an Experimental Study in Wistar Rats. *Muscles, Ligaments & Tendons Journal (MLTJ)* . Apr-Jun2022, Vol. 12 Issue 2, p130-143. 14p.

McCombe, D., Brown, T., Slavin, J., & Morrison, W. A. (2001). The Histochemical structure of the deep fascia and its structural response to surgery. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*, 26(2), 89–97.

Pratt R. L. (2021). Hyaluronan and the Fascial Frontier. *International journal of molecular sciences*, 22(13), 6845.

Lee-Sayer, S. S., Dong, Y., Arif, A. A., Olsson, M., Brown, K. L., & Johnson, P. (2015). The where, when, how, and why of hyaluronan binding by immune cells. *Frontiers in immunology*, 6, 150.

Shiotani, H., Yamashita, R., Mizokuchi, T., Sado, N., Naito, M., & Kawakami, Y. (2021). Track distance runners exhibit bilateral differences in the plantar fascia stiffness. *Scientific reports*, 11(1), 9260.

Pimenta, R., Lopes, T., Bruno, P., & Veloso, A. (2023). Effects of Repeated Sprints on Hamstring Active Shear Modulus Pattern and Neuromuscular Parameters in Football Players with and without Hamstring Strain Injury History—A Retrospective Study. *Applied Sciences*, 13(5), 3099.

Gatej, I., Popa, M., & Rinaudo, M. (2005). Role of the pH on hyaluronan behavior in aqueous solution. *Biomacromolecules*, 6(1), 61–67.

Cowman, M. K., Schmidt, T. A., Raghavan, P., & Stecco, A. (2015). Viscoelastic Properties of Hyaluronan in Physiological Conditions. *F1000Research*, 4, 622.

Green, B., & Pizzari, T. (2017). Calf muscle strain injuries in sport: a systematic review of risk factors for injury. *British journal of sports medicine*, 51(16), 1189–1194.

Lord SR, Ward JA. Age-associated differences in sensori-motor function and balance in community dwelling women. *Age Ageing*. 1994 Nov;23(6):452-60.

van der Made AD, Wieldraaijer T, Kerkhoffs GM, et al. The hamstring muscle complex. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015 Jul;23(7):2115-22.

Gavronski, G., Veraksitš, A., Vasar, E., & Maaros, J. (2007). Evaluation of viscoelastic parameters of the skeletal muscles in junior triathletes. *Physiological Measurement*, 28(6), 625.

Aird, L., Samuel, D., & Stokes, M. (2012). Quadriceps muscle tone, elasticity and stiffness in older males: reliability and symmetry using the MyotonPRO. *Archives of gerontology and geriatrics*, 55(2), e31-e39.

Kawai, T., Takahashi, M., Takamoto, K., & Bito, I. (2021). Hamstring strains in

professional rugby players result in increased fascial stiffness without muscle quality changes as assessed using shear wave elastography. *Journal of bodywork and movement therapies*, 27, 34–41.

Findley, T. W., & Shalwala, M. (2013). Fascia Research Congress evidence from the 100 year perspective of Andrew Taylor Still. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 17(3), 356-364.

Menorca, R. M., Fussell, T. S., & Elfar, J. C. (2013). Nerve physiology: mechanisms of injury and recovery. *Hand clinics*, 29(3), 317–330.

Kouzaki, K., Nakazato, K., Mizuno, M., Yonechi, T., Higo, Y., Kubo, Y., Kono, T., & Hiranuma, K. (2017). Sciatic Nerve Conductivity is Impaired by Hamstring Strain Injuries. *International journal of sports medicine*, 38(11), 803–808.

Linke WA. Titin Gene and Protein Functions in Passive and Active Muscle. *Annu Rev*

Physiol. 2018 Feb 10;80:389-411.

Li Y, Lang P, Linke WA. Titin stiffness modifies the force-generating region of muscle sarcomeres. *Sci Rep.* 2016 Apr 15;6:24492.

Leonard TR, Herzog W. Regulation of muscle force in the absence of actin-myosin-based cross-bridge interaction. *Am J Physiol Cell Physiol.* 2010 Jul;299(1):C14-20.

Kanda K, Sakuma J, Akimoto T, Kawakami Y, Suzuki K. Detection of titin fragments in urine in response to exercise-induced muscle damage. *PLoS One.* 2017 Jul 20;12(7):e0181623. doi: 10.1371/journal.pone.0181623. eCollection 2017.

Eckels, E. C., Tapia-Rojo, R., Rivas-Pardo, J. A., & Fernández, J. M. (2018). The Work of Titin Protein Folding as a Major Driver in Muscle Contraction. *Annual review of physiology*, 80, 327–351.

Kawai, T., Takamoto, K., & Bito, I. (2021). Previous hamstring muscle strain injury alters passive tissue stiffness and vibration sense. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 27, 573-578.

Maruyama, N., Asai, T., Abe, C., Inada, A., Kawauchi, T., Miyashita, K., Maeda, M., Matsuo, M., & Nabeshima, Y. I. (2016). Establishment of a highly sensitive sandwich ELISA for the N-terminal fragment of titin in urine. *Scientific reports*, 6, 39375.

Yamaguchi, S., Suzuki, K., Kanda, K., Inami, T., & Okada, J. (2020). Changes in urinary titin N-terminal fragments as a biomarker of exercise-induced muscle damage in the repeated bout effect. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 23(6), 536-540.

## 図の説明

### 図 1. 患側及び健側の深筋膜領域及び筋組織の組織弾性率

図 1 は HSI 既往歴を有する競技者の患側及び健側部の深筋膜領域及び筋組織のハムストリングス組織弾性率を示す。患側部の深筋膜領域組織弾性率は健側部と比較して有意に高値を示した(図 1A)。一方、患側と健側間で筋組織弾性率に有意な差は認められなかった(図 2B)。※paired T-Test,  $P < 0.05$

### 図 2. HSI 既往歴群及び健常群における平均組織硬度

図 2A は HSI 既往歴群の患側部及び健常群の優位側のハムストリングス平均組織硬度を示す。HSI 既往歴群の患側部の平均組織硬度は健常群の優位側と比較して有意な高値を示した。図 2B は HSI 既往歴群の患側部及び健常群の非優位側の平均組織硬度を示す。HSI 既往歴群の患側部の平均組織硬度は健常群の非優位側と比較して有意な高値を示した。※Unpaired T-test,  $P < 0.05$

### 図 3. HSI 既往歴群における患側部と健側部の平均組織硬度

HSI 既往歴群における患側部と健側部のハムストリング平均組織硬度を示す。患側部のハムストリングス平均組織硬度は健側部と比較して有意に高値を示した。

※※Paired T-test,  $P < 0.01$

### 図 4. HSI 既往歴群及び健常群における平均振動覚知覚時間

図 4A は HSI 既往歴群の患側部及び健常群の優位側の平均振動覚知覚時間を

示す HSI 既往歴群の患側部の平均振動覚知覚時間は健常群の優位側と比較して有意な低値を示した。図 4B は HSI 既往歴群の患側部及び健常群の非優位側の平均振動覚知覚時間を示す。HSI 既往歴群の患側部の平均振動覚知覚時間は健常群の非優位側と比較して有意な低値を示した。※※Unpaired T-test,  $P < 0.01$

#### 図 5. HSI 既往歴群における患側部と健側部の平均振動覚知覚時間

HSI 既往歴群における患側部と健側部の平均振動覚知覚時間を示す。患側部の平均振動覚知覚時間は健側部と比較して有意に低値を示した。※※Paired T-test,  $P < 0.01$

#### 図 6. 下肢の肉離れ既往歴群及び健常群の運動前後の UTF value の変化

下肢の肉離れ既往歴群及び健常群の運動前後の UTF value の変化を示す。下肢の肉離れ既往歴群の運動前後の UTF value の変化比は健常群と比較して有意に高値を示した。※Unpaired T test,  $P < 0.05$

#### 図 7. HSI 再受傷のメカニズム仮説

本研究により得られた結果を基にした HSI 再受傷のメカニズムの仮説を示す。

表 1. 被験者情報

患側部位(右/左)	4/7
年齢(歳)	31.46±1.16
身長(cm)	179.82±1.81
体重(kg)	52.6±3.2
HSI 回数(1 回、2 回、3 回以上)	5/4/2
MRI 画像評価による HSI 損傷横断面積(%)	0.35±0.06
MRI 画像評価による HSI 損傷長(mm)	150.55±16.63

表 2. 深筋膜領域・筋組織弾性率と年齢、HSI 損傷範囲及び長さとの関連性

	深筋膜領域組織弾 性率	筋組織弾性率
年齢	r = -0.09 (P = 0.80)	r = 0.23 (P = 0.50)
MRI 画像評価による HSI 損傷横断面積	r = -0.11 (P = 0.75)	r = 0.08 (P = 0.82)
MRI 画像評価による HSI 損傷長	r = -0.07 (P = 0.85)	r = 0.0002 (P > 0.90)

表 3. HSI 既往歴群における組織硬度比及び平均振動覚知覚時間比と年齢及び BMI との関連性

	組織硬度比(患側/健側)	平均振動覚知覚時間比(患側/健側)
年齢	r = -0.38 (P = 0.35)	r = 0.54 (P = 0.17)
BMI	r = 0.046 (P = 0.913)	r = -0.484 (P = 0.22)

表 4. 各群の臨床所見

	下肢の肉離れ既往歴群 (N = 8)	健常群 (N = 8)
年齢(歳)	26.25 ±1.4	23.75±1.01
競技歴(年)	14.375±1.17	12.25 ±0.24
身長(cm)	173.63±1.98	176.38 ±1.01
体重(kg)	69.63±2.05	72.38±1.87
BMI	23.0 ±0.32	23.25±1.39
前回の損傷から現在までの期間 (月)	29.25±4.23	0
運動前の UTF レベル (pmol/L)	18457.96±3615.54	23119.47±8107.72

表 5. 臨床所見とトレーニング前後の UTF レベル変化との相関

トレーニング前後の UTF レベルの変化 (比)		
	相関係数	P 値
年齢	0.16 (r)	NS
競技歴	0.23 (r)	NS
身長	-0.07 (r)	NS
体重	-0.07 (r)	NS
BMI	-0.06 (r)	NS
前回の損傷から現在までの期間	0.7 ( $\rho$ )	$P < 0.05$

r, Pearson correlation coefficient;  $\rho$ , Spearman's rank correlation coefficient; NS, Non-significant

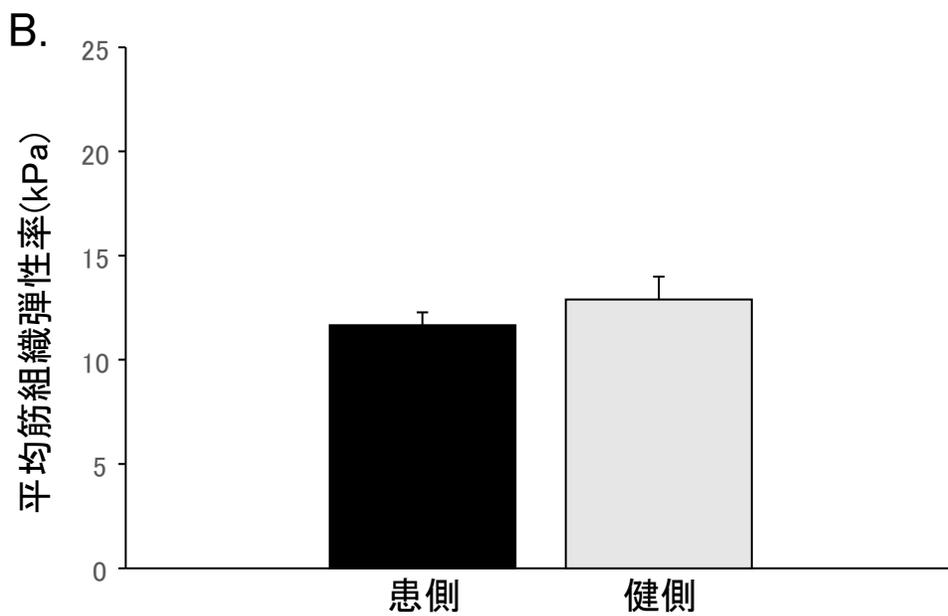
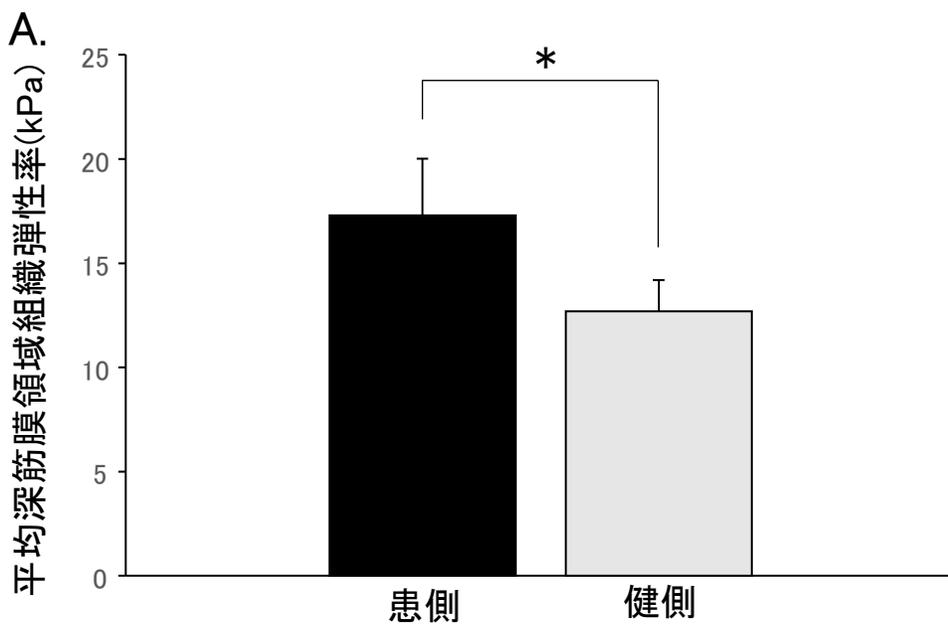


图1

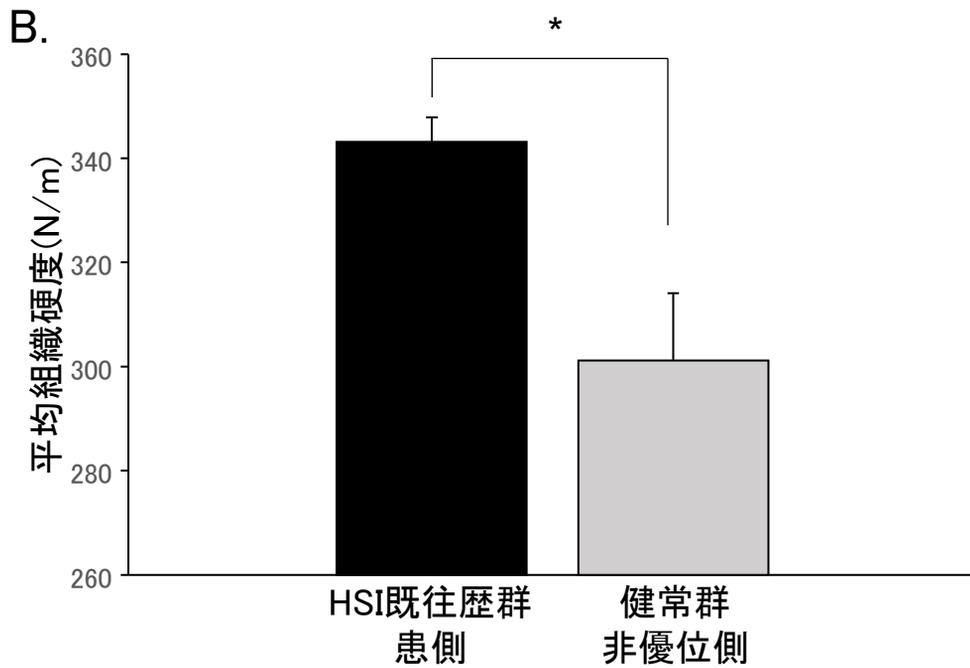
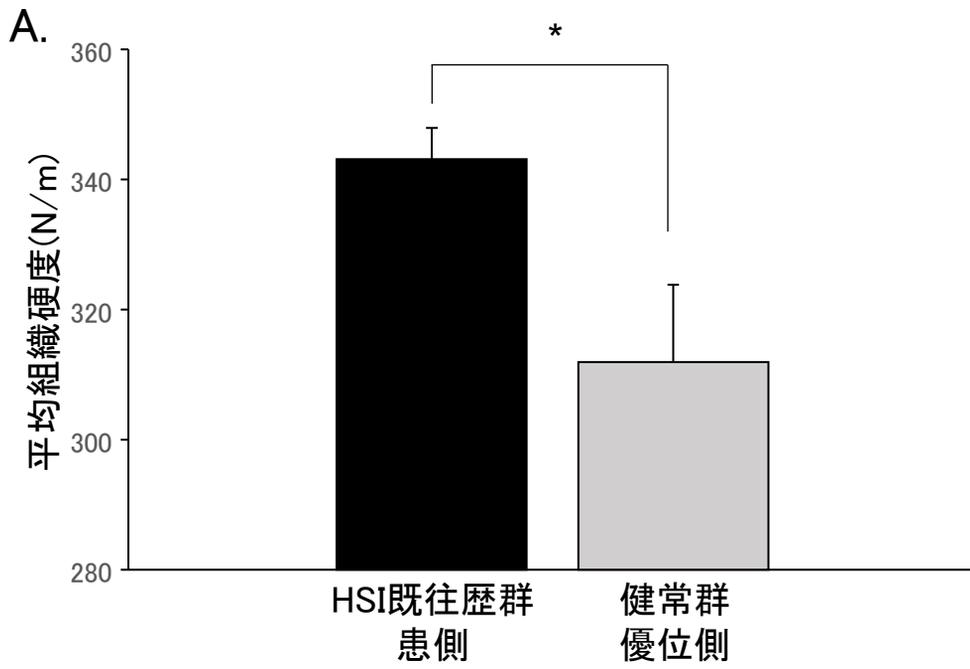


図2

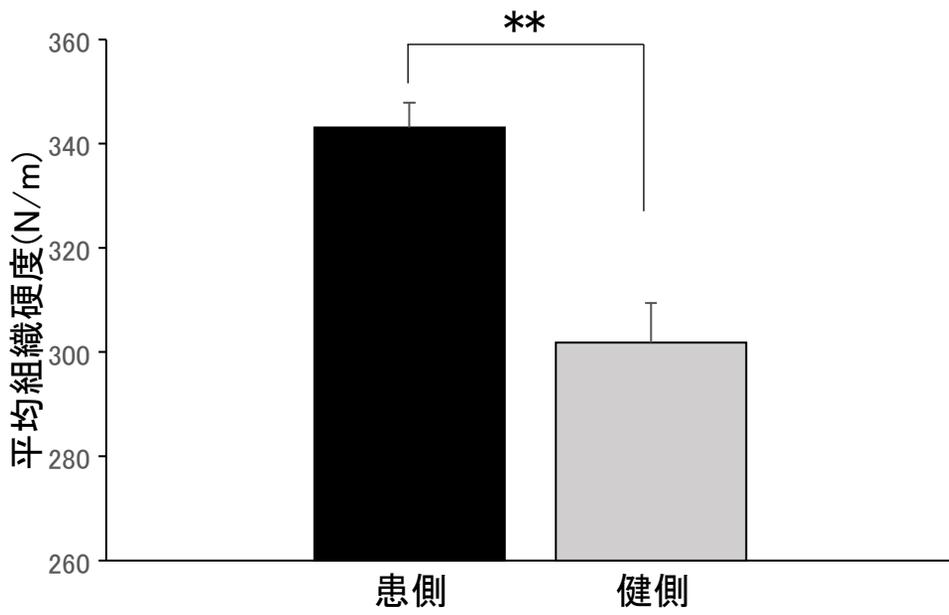


图3

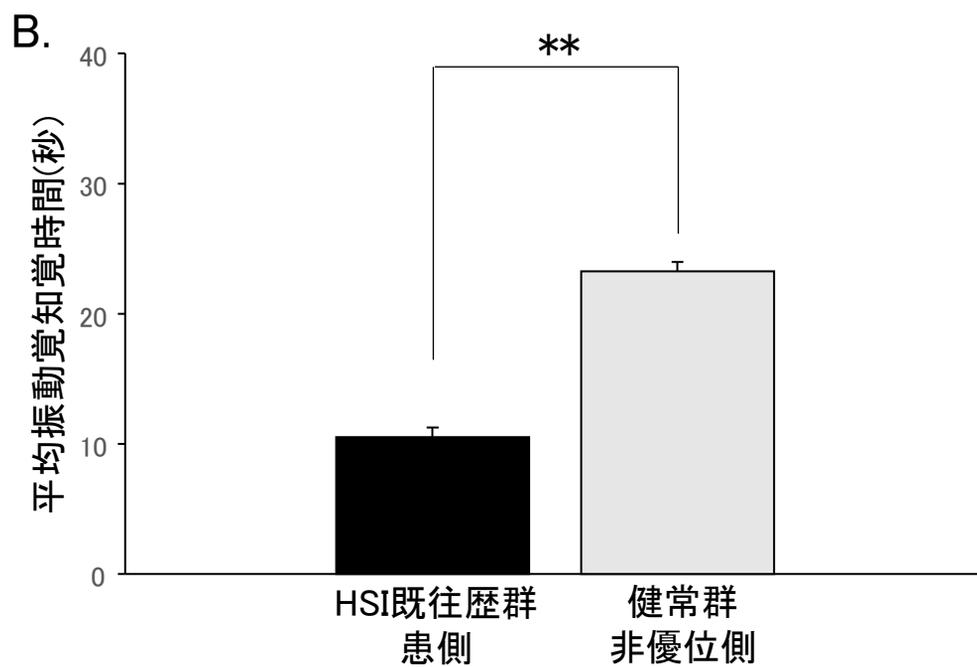
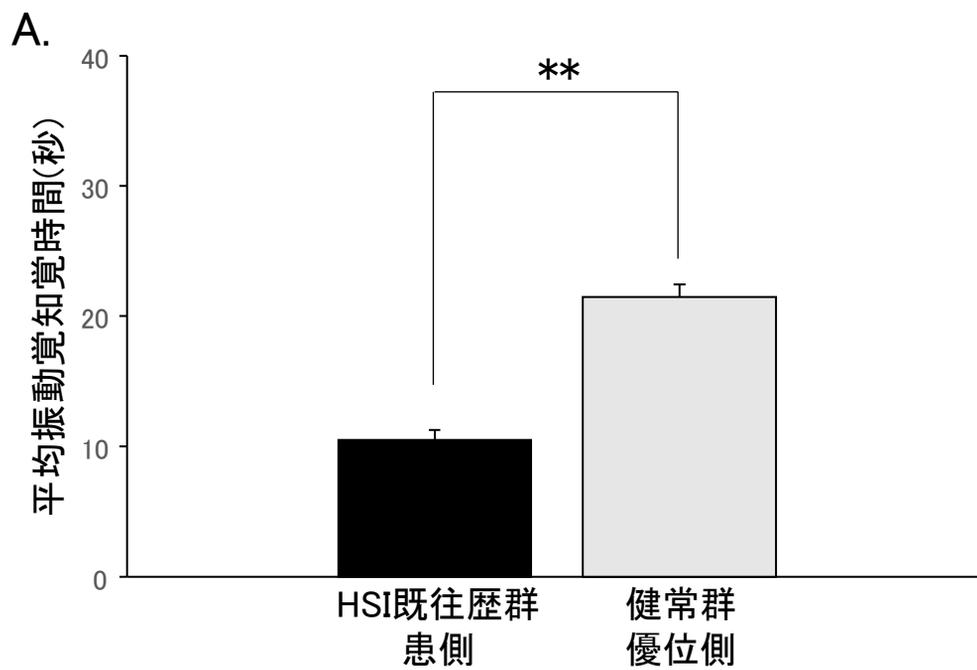


图4

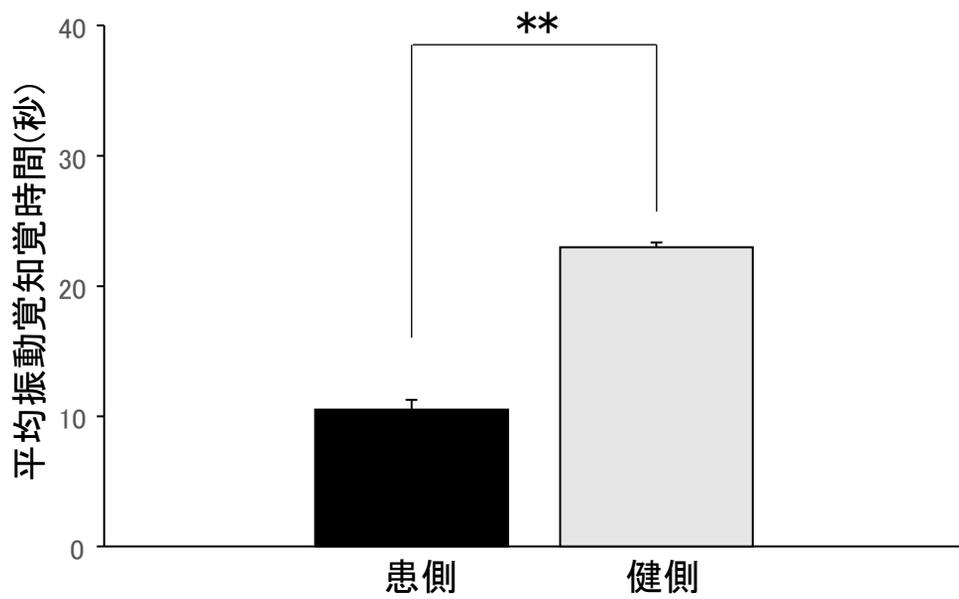


图5

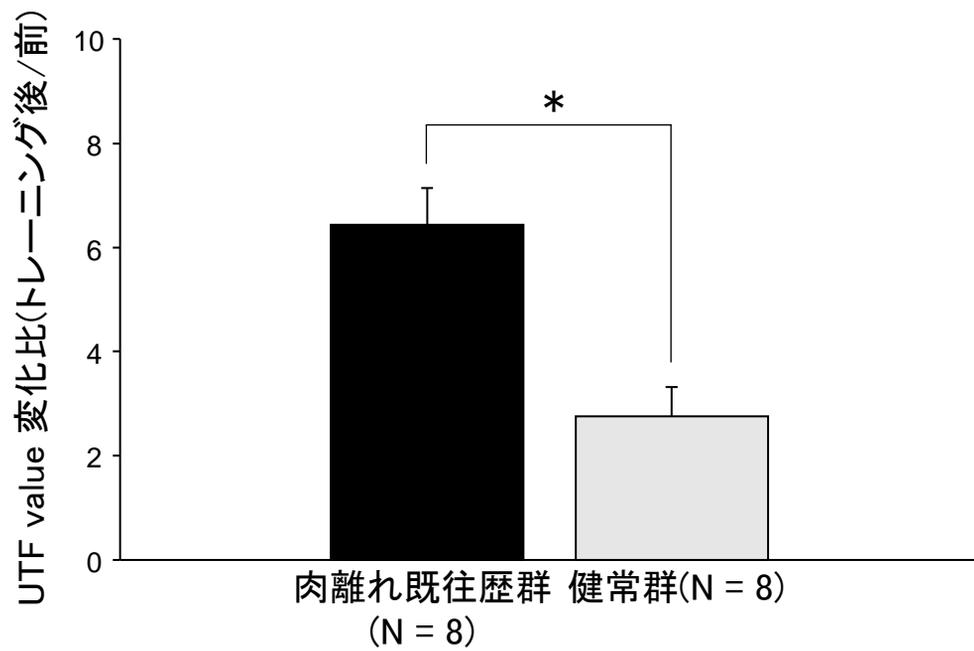


図6

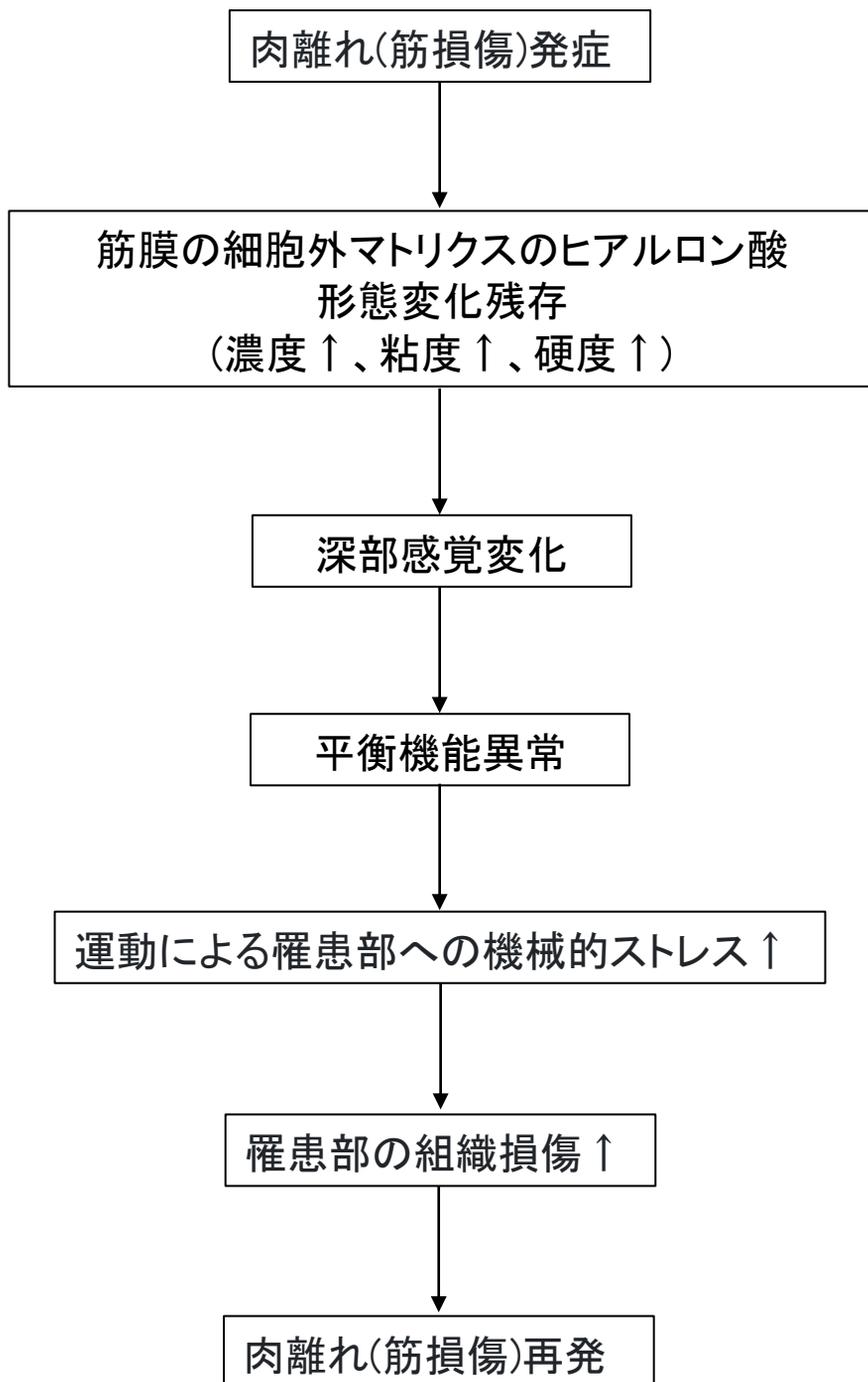


図7