

Real-time Tissue Elastography による膝蓋腱弾性の半定量的評価 —発育に伴う膝蓋腱の弾性の変化—

Semi quantitative evaluation of patellar tendon elasticity using Real-time Tissue Elastography.

- A Change of patellar tendon elasticity with growing. -

スポーツ医科学研究領域
5012A013-6 木谷健太郎

研究指導教員：鳥居 俊准教授

【緒言】 腱とは筋と骨を接続する組織であり、筋の発した力を骨に伝える役割を果たすことで運動を発生させる。腱は成長とともに硬くなると言われている。成長に伴い筋力が向上するが、それに伴い腱が硬くなることにより、腱はより強い筋力にも耐えようようになる。そのため、腱が成長に伴い硬くなることは、力学的に望ましい変化であると言える。しかし、腱が硬くなると報告している研究は全て、大人と子どもを比較したものであり、成長期の間でどのような変化を示すかは明らかにされていない。腱の弾性の発育変化を知ると同時に、身体の発育発達、発育期における障害発生との関連についても研究する必要がある。膝蓋腱は、成長期では Osgood-Schlatter 病が好発し、それ以降では膝蓋腱障害(ジャンパー膝)が好発するように、成長に伴い変化する障害に対しても、発育との関係を検討する必要性が示唆される。本研究では、従来の腱の弾性を測定する方法(等尺性収縮中の腱伸張と腱張力の関係から弾性の指標となる stiffness を算出)ではなく、Real-Time Tissue Elastography(RTE 法)を用いて腱の弾性を評価した。この RTE 法はリアルタイムで腱の弾性を推定することが可能である。また、RTE 法は被検者の力発揮求めないため、子どもや高齢者、障害者に対しても安定して測定が可能である。しかし、RTE 法は検者が小さな圧迫—解放を繰り返す必要があり、検者の技術が測定値に影響を及ぼすと考えられる。そのため、再現性の確認は不可欠である。また、アキレス腱でひずみ比による評価の再現性を調べた研究はみられるが、その他の腱では評価の再現性は確認されておらず、対象組織ごとに確認することも必要であると考えられる。そこで本研究では、RTE 法を用いて膝蓋腱の弾性を測定する際の再現性を検証し、発育と膝蓋腱の弾性との関係について横断的および縦断的に検討することを目的とした。

【研究 1】RTE 法による膝蓋腱弾性測定の再現性の検討

目的: RTE 法を用いて膝蓋腱の弾性を測定する際の再現性を確認することを目的とした。

方法: 男子大学生を対象とし、検者内再現性の確認では 7 名 13 脚、検者間再現性の確認では 4 名 7 脚、日間再現性の確認では 6 名 6 脚を測定した。RTE 機能を搭載した超音波診断装置のリニアプローブのプローブを、膝関節伸展位にて膝蓋腱の膝蓋骨停止部と脛骨停止部の中間の横断面上に配置した。プローブの先端には専用のレファレンス物質を装着

し、対象部位の上から徒手にて微小な圧迫—開放を繰り返した。膝蓋腱弾性の評価は、硬度の基準としてレファレンス物質を用い、それに対する膝蓋腱のひずみの比率を Strain Ratio(SR)という半定量的指標から評価した(SR の値が低いほど腱が硬い)。検者内再現性の確認は、1 人の検者が各被検者に対して同一日に、数分間の休憩を挟み 3 試行を行なった。検者間再現性の確認では、同一被検者に対して同一日に 2 人の検者が 1 試行ずつ交互に行い、3 試行ずつ、計 6 試行の測定を行なった。日間再現性の確認では、1 人の検者が各被検者に対して別日に 1 試行ずつ、計 2 試行を行なった。検者内再現性、日間再現性の確認には、級内相関係数(ICC(1,1))を用い、検者間再現性には、級内相関係数(ICC(2,1))を用いた。また、各再現性の確認で被検者ごとに試行間の変動係数を算出し、変動係数の平均値も求めた。

結果および考察: 級内相関係数は、検者内再現性が ICC(1,1)=0.93、検者間再現性が ICC(2,1)=0.82、日間再現性が ICC(1,1)=0.82 であり、非常に良好な再現性を示したことから、熟練した検者であれば安定して測定できることが明らかとなった。また、変動係数は検者内再現性が 6.9%、検者間再現性が 7.7%、日間再現性が 4.1%であったことから、それを超える差は意味のある差であると考えられる。

【研究 2】小中学生サッカー選手の膝蓋腱弾性—横断的検討—

目的: RTE 法によって評価された膝蓋腱の弾性を小学校高学年から中学生で横断的に比較し、1)成長期における SR を学年ごとに示すこと、2)SR と発育の関係を横断的に検討することを目的とする。

方法: 対象は、地域のサッカークラブに所属する男子小中学生 118 名 118 脚(小 5: 19 人、小 6: 14 人、中 1: 31 人、中 2: 28 人、中 3: 26 人)であった。研究 2 では、RTE 法による膝蓋腱の弾性の他に、発育指標、身体形態、身体機能を測定した。各被検者の PHV 年齢を推定し、RTE 法測定時の年齢が PHV 年齢に満たない場合を PHV 前、PHV 年齢を上回っている場合を PHV 後とし、分類した。また、脛骨粗面の超音波画像から、4 つの脛骨発育段階(stageC、stageA、stageE、stageB)に分類した。分類した PHV 群と脛骨発育段階を発育指標として用いた。身体形態として、身長、体重、座高を測定し、さらに DXA 法装置により頭部・体幹・上肢質量、下腿部を除いた身体質量を求めた。身体機能として、等速性膝関節伸展最大トルク(60deg/s)、伸展トルク体重比(膝関節伸展最大トルク/体重)の測定に加え、

東大式全身関節弛緩性検査により7部位の関節弛緩性も測定した。

結果および考察：SRの学年平均では、小5および中2と比べ、中3が有意に硬いことが示されたことから、小学校高学年から中学生にかけて、膝蓋腱が硬くなることが示唆された。発育指標では、PHV後がPHV前より有意にSRが低く、脛骨発育段階のstageCおよびstageAに比べ、stageBで硬いことが明らかとなったことから、成長とともに膝蓋腱が硬くなることが考えられた。また、stageBでは、骨端線閉鎖とともに骨長成長が終了し、筋量(筋長)が増加する時期であることから、過緊張状態であった腱が一時的に弛緩することが予想される。

身体形態とSRには、体重、座高との間に負の相関傾向がみられた。成長に伴う腱の弾性変化は、体重増加による影響が大きいとしている先行研究と同様の結果であった。座高の影響を制御した体重とSRの相関関係を検討すると、座高の相関傾向が消失した。このことから、座高の違いによる体重がSRと関係があることが推察された。そこで頭部・体幹・上肢の質量とSRの相関関係を検討すると、有意な負の相関関係が見られた。また、下腿部を除いた身体質量とSRの間にも、有意な負の相関関係がみられたことから、体重全体よりも、膝蓋腱が支持していると考えられる下腿部を除いた身体質量が、膝蓋腱の硬さに影響を与える要因であることが示された。

身体機能とSRには、膝関節伸展最大トルクとの間で負の相関傾向がみられた。しかし、最大トルクを体重で標準化した伸展体重比トルクでは相関関係は消失した。つまり、SRと膝関節伸展最大トルクの相関傾向は、体重の影響によるものである可能性が示された。また、関節弛緩性とSRの間に相関関係はみられなかったことから、関節のゆるさは腱の硬さに影響を受けない、ということが示された。

ステップワイズ法により重回帰分析を行なった結果、測定時年齢を独立変数とする有意な回帰式が得られ、寄与率は6.6%であった。本研究で用いた発育指標、身体形態、身体機能の各測定項目は、関節弛緩性を除いて全て測定時年齢と有意な相関関係にあった。そのため、測定時年齢以外の項目が除外されたと考えられる。このことから、成長に伴い膝蓋腱が硬くなることが示唆される。

【研究3】小中学生サッカー選手の膝蓋腱弾性の変化—縦断的検討—

目的：小学校高学年から中学生にかけて、RTE法を用いて膝蓋腱の弾性を追跡調査し、1)1年ごとのSR変化を示すこと、2)1年間のSR変化と発育変化の関係を縦断的に検討することを目的とする。

方法：対象は、地域のサッカークラブに所属する男子小中学生58名(小5~小6:18人、中1~中2:27人、中2~中3:13人)とした。測定は、2012年度と2013年度にそれぞれ1回ずつ実施し、測定間隔は約1年間であった。研究3では、RTE法による膝蓋腱の弾性の他に、発育指標としてPHV年齢および脛骨発育段階、身体形態として身長、体重、

座高、下腿部を除いた身体質量、身体機能として膝関節伸展最大トルク、伸展トルク体重比、関節弛緩性を測定した。2012年度・2013年度ともにPHV前の群を“pre”群、2012年度にPHV前で2013年度にPHV後となった群を“spurt”群、2012年度・2013年度ともにPHV後だった群を“post”群とし、PHV年齢群として3群に群分けした。

結果および考察：小5~小6、中2~中3の1年間でSRが有意に低下したことから、膝蓋腱が1年間で硬くなることが示された。一方、中1~中2では有意なSRの低下は見られず、対象のなかにはSRが増加しているものが存在していた。筋量増加のピークは骨長増加のピークより遅れることが知られており、この“ずれ”の時期は筋腱複合体が過緊張状態となる。中1~中2にかけて、筋腱複合体が過緊張状態であった者と、PHVを過ぎて過緊張状態が緩和された状態であった者とが混在していた可能性があり、それぞれの変化が打ち消しあって中1~中2全体で差がみられなかったものと考えられた。

PHV年齢群では、spurt群でのみSRが有意に低下した。脛骨発育段階は、C→Aで有意に低下し、A→Eで低下する傾向がみられた。また、脛骨発育段階が進行していなかったE→EではSRに有意差が認められなかった。これらのことから、身体の発育に伴い膝蓋腱が硬くなることが示された。E→Bにおいては有意な差はみられず、1年間でSRの値が高くなる例が数多く確認された。小児から成人へ成長する過程で腱は成長に伴い硬くなることが考えられるが、骨長や筋長の変化による筋腱複合体の緊張状態の変化により、腱の弾性が単なる一方向的に増加するだけではないということが示された。

身体形態および身体機能の変化量とSRの変化量に、どれも有意な相関関係はみられなかった。PHV前とPHV後で同じ年間増加量を示す時期があり、本研究ではその2つの測定時期が同じ年間増加量の時期であった可能性があることから、有意な相関関係がみられなかったものと考えられる。また、腱内の細胞の変化や代謝における個人差も影響していたと考えられる。

【結論】 膝蓋腱は、成長に伴い硬くなることが示された。PHVを経過することで膝蓋腱が硬くなり、脛骨発育段階の進行により腱が硬くなることが示されたことから、成長に伴う変化が明らかとなった。体重や膝蓋腱が支持すると考えられる下腿部を除いた身体質量の増加、大腿四頭筋の筋力増加も腱を硬くする要因であると考えられるが、縦断的な変化量の観点からこれらの関係性を明らかにすることはできなかった。