

超音波法を用いた脛骨神経の形態及び動態評価

スポーツ医科学研究領域

5022A006-2 今村 理彩子

研究指導教員：熊井 司 教授

【序論】脛骨神経は、下腿部でヒラメ筋と腓腹筋の間隙を下降し、内果の後下方に位置する足根管内を通過した後、走行方向を足趾の向きへと変える走行をとる。主に足底の皮膚知覚を支配している。下腿筋部では、脛骨神経は圧迫の影響を受けず症状も発症しないが、筋組織の少ない足関節付近においては絞扼性末梢神経障害（足根管症候群）が好発する。

こうした絞扼性の神経障害が起こる原因は複数考えられる。足根管症候群に限定して考えれば、ひとつ挙げられるのは足根管という骨性線維性構造のトンネル内を通ることである。足根管内は神経の他にも足部の主要な屈筋群や腱、後脛骨動静脈が平行に通っていて狭い上に、柔軟性が低い屈筋支帯と踵骨に挟まれている。神経は関節運動により力学的影響を受けるが、関節付近と異なり筋内走行部では影響を受けづらいことから、その影響の度合いは身体部位によって異なることが予想される。加えて、さらに足関節運動が加わることで神経の圧迫・絞扼の度合いが強まり、負荷がかかりやすくなる可能性が考えられる。つまり、健常状態であっても足根管の内部では神経絞扼・圧迫が起こりやすい条件が揃っていると言える。

足根管内において絞扼が起こり、足根管症候群が発症するもう一つの要因として、脛骨神経の滑走性が低下していることが可能性として挙げられる。生体組織は機能障害により形状だけでなく力学特性も変化することが知られているため、神経滑走の度合いを距離として定量的に評価することは診断のみならず予防の手段としても有用であると言える。しかし現状、健常者を対象にした末梢神経の機械的機能に対する検査手法は限定的なものにとどまる。末梢神経は周径が筋腹よりも平均して小さく、また機械的機能および生理学的機能の双方に配慮しなければならないことから、生体内では筋組織に対する手法と同じものを用いることは、侵襲性などの観点から研究倫理に抵触するリスクが高いためである。そのため、これらを

クリアするエコーは検査方法のひとつとして有用である。

【研究1：緒言】研究1では足関節角度と測定位置の差異が、脛骨神経の形態変化に与える影響を検討することを目的とした。足関節付近と筋内を走行する部分とで、足関節角度により脛骨神経の形態変化に違いが見られるか、長軸と短軸で検討を行った。

【研究1：方法】対象は、健常な成人男性7名とした。超音波診断装置を用いて、Bモードによる神経横断面積、神経厚の撮像とShear Wave Elastography(SWE)による神経弾性の撮像を行なった。内果の中心を横方向へ延長した内果の後方の一点と、その地点から下腿長の10%近位の一点、20%近位の一点の3つの地点に、黒色マーカーで印をつけ目安とした。測定開始前に、内果から脛骨内側上顆までの距離をメジャーで計測し、下腿長と定義した。バイオデックスに被験者を座らせ、股関節屈曲90°、膝関節0°に設定した。

エコープローブの左端を、先述した3点のマーキングに沿って足底と平行になるように当てて、Bモードで短軸走査の静止画像を撮像し脛骨神経の位置を確認した後、バイオデックスを順に操作し、3種類の足関節肢位において3点の測定位置で3回ずつ横断面積の撮像を行った。次に、短軸方向と同様の測定肢位および測定位置で、短軸走査時のプローブを当てた位置の中心を支点に反時計回りに90°回転させた。脛骨神経の位置を確認後、各肢位・各位置において3回ずつ神経厚のBモード撮像とSWEによる神経弾性の撮像を行った。SPSS Statistic29を用いて統計解析を行った。各項目間でのspearmanの順序相関係数を求めた($p=0.768$)。また平均値から身体部位と足関節角度で二元配置分散分析と多重検定を行なった($p=0.05$)。

【研究1：結果・考察】神経横断面積と身長および体重との関係は、先行研究では体重との相関が示されていたのに対し本研究でいずれとの間にも相関はなかった。下腿長とも有意な相関は示されなかったが、負荷をかけ

ていない状態での脛骨神経の横断面積に影響を与えている可能性がある。神経厚に関して、Andrade らは神経の伸長適応について述べており、今回神経厚の値が特に内果後方にて背屈時に著しく低下する傾向が見られたことから、身体部位並びに足関節角度によって神経形態が変化することを示唆するものと考えた。神経弾性の数値だけで見ると、全ての測定位置で背屈 20° において数値が大きくなり、硬くなった。

【研究 1：結論】神経横断面積は、下腿長と相関をもつ可能性が示唆された。神経厚は、背屈位において薄くなったことから、背屈時に強く伸長することが示されたと考えられた。神経弾性は全ての測定位置で背屈 20° において硬くなった。

【研究 2：緒言】研究 2 では、研究 1 の発展として足関節低背屈運動中にエコー動画を撮像して直接的に脛骨神経の変化を捉えることを目的とした。エコーを用いることにより、簡便に関節運動時における組織の動態を観察することができる。

Dilley らが開発した Motion Tracking は、神経の長軸方向での滑走を捉えるのに適している。設定したそれぞれの領域について輝度の相関が最も高い領域が追跡対象として動画上で自動追跡され、その距離が計測され黄色線として表示される。

【研究 2：方法】対象は成人男性 6 名の右側脚である。超音波診断装置を用いて、足関節運動時の脛骨神経の動画撮像を行なった。測定開始前に、内果から脛骨内側上顆までの距離をメジャーで計測し、下腿長と定義した。測定位置は内果の中心を横方向へ延長した内果の後方の一点と、その地点から下腿長の 10% 近位の一点、20% 近位の一点の 3 つの地点に、黒色マーカーで印をつけ目安とした。

足関節付近と筋内を走行する部分とで、脛骨神経の動態変化に違いが見られるか検討を行った。バイオデックスに被験者を座らせ、股関節屈曲 90°、膝関節 0°、足関節を底屈 30° から背屈 20° まで速度 2°/s で他動的に運動させるよう設定した。

【研究 2：結果・考察】下腿 20% において最も大きい数値が示される傾向があった。内果後方では、一度上方へ移動した後長軸方向へスライドするような動きが見られたが、これは下腿 10% においても同じような動きが見

られ、上方への移動の後長軸方向へ内果後方よりも大きく移動していく様子が確認された。脂肪組織は末梢神経の保護ならびに潤滑剤の役割を持ち、また周辺に存在する脂肪組織が脛骨神経に対し長軸・短軸方向における滑走を許容することが報告されているため、下腿 10% において内果後方よりも移動距離が大きくなる傾向が出たと考えられる。加えて、内果後方では屈筋支帯が神経の自由な移動を制限していることも一因として考えられる。下腿 20% 地点では腓腹筋の膨大が背屈運動と共に開始する様子が観察された。そのため、直下に存在する脛骨神経は、下方へ押し下げられながら近位側へ移動したと考えられる。

【研究 2：結論】下腿 20% において最も大きい数値が示される傾向があった。しかし、今回とらえた距離は長軸のみであることから、完全に動きをとらえられたとは言い難い。さらに多軸の観点での検討が必要と言える。

【総合考察】関節運動に伴う組織の三次元的な動態を定点で観察するのに際し、身体組織は長軸方向だけでなく短軸方向にも動く。末梢神経の機械的機能は多様な方向にはたらく負荷を消散させている。今後研究をさらに発展させていく展望として、神経組織単体における滑走性だけでなく、周辺の腱組織や血管組織の滑走性を定量化し、これらの数値と神経の滑走性との関連を見ていきたいと思う。脛骨本研究の限界として、プローブを当てる位置との兼ね合いによる足部固定の不十分さ、股関節角度固定の不十分さ、個々人の足関節可動域を考慮に入れていないことが挙げられる。

【結論】神経の形態を、身体部位と足関節角度ごとに短軸・長軸観察した結果、神経横断面積は体重と相関を持つ可能性が示された。神経厚と神経弾性については下腿長と相関を持ち、脛骨神経の筋内走行部では足関節付近よりも厚さと弾性が大きく変化することがわかった。また脛骨神経の動態を、身体部位ごとに長軸観察した結果、各測定位置は周辺のメカニカルインターフェースの影響を受けて、それぞれ異なる移動を見せた。周辺組織からの力学的負荷を消散させるため、筋内走行部では短軸と長軸双方向の動きが許容されている可能性がある。