

氏名（本籍）	信江彩加（岡山県）
学位の種類	博士（スポーツ科学）
学位記番号	甲第38号
学位授与日	令和3（2021）年3月17日
学位授与の要件	大阪体育大学大学院学位規程第4条第1項該当
研究科名	スポーツ科学研究科（博士後期課程）スポーツ科学専攻
論文題目	ヒトの末梢運動神経伝導速度と神経幹サイズにおける特異性
審査委員	主査 教授 石川昌紀 副査 教授 前島悦子 教授 浜田拓

論文内容の要旨

素早い全身の反応は、競技スポーツのパフォーマンスに限らず、高齢者の転倒予防や反応遅延による事故の予防など、身体運動や日常生活の様々な場面で重要な役割を果たす。ヒトが音や光の外部刺激に対して身体を動かすまでの時間を示す全身反応時間は、目や耳などの感覚受容器から上位中枢、末梢神経を介して筋へ生体電気信号が伝わり、筋収縮による力発揮するまでにかかる時間のことであり、中枢神経系、末梢神経系、筋腱形態・機能系の各階層において反応時間の可塑性やトレーニングの可能性が検討されてきた。特に、末梢神経に関しては、神経線維が太いほど伝導速度は高く、トレーニングによって神経線維が太くなることが動物実験により明らかにされているが、生体では極小の神経線維の太さを測定するイメージング技術が十分でないために、まだまだ未知の領域となっている。

近年、高解像度イメージング技術の発展に伴い、生体内の神経線維が束となった神経幹レベルの太さの測定が可能となった。そこで本研究は、超音波装置を用いた神経幹の横断面積とその伝導速

度の関係を明らかにし、左右の一側優位性、上・下肢間、四肢の近・遠位部間、競技スポーツ間、性差における末梢神経の形態的、機能的特徴が存在するのか明らかにすることを目的とした。

対象は18–25歳の神経障害の既往歴を持たない男女のべ157名とした。運動神経伝導速度(以下、神経伝導速度)は、上・下肢それぞれ、尺骨神経、脛骨神経、それぞれの表皮上を2、3点誘発電気刺激することで、尺骨神経支配筋の小指外転筋と、脛骨神経支配筋のヒラメ筋の筋活動を記録し、電気刺激位置間の距離を各電気刺激点から導出された潜時差で除して算出した。両神経の各神経幹の横断面積(以下、神経横断面積)は、それぞれ超音波装置を用いて近位部から遠位部の3–5点で横断画像を撮像した。撮像した超音波画像を画像分析ソフトウェア(ImageJ software, ver 1.45s, National Institutes of Health, USA)を用いて神経上膜を含んだ神経周径の境界をデジタイズすることで計測した。上・下肢周径囲はメジャーを用いて測定した。

本研究では、上記の研究手法を用いて、下記の5点について明らかにした。

- (1) 高解像度超音波装置を用いて生体内の末梢神経(尺骨神経と脛骨神経)の神経幹レベルでの横断面積を同定し、その神経伝導速度との関係を調べた結果、上・下肢の尺骨神経と脛骨神経ともに神経横断面積と神経伝導速度には関係が認められず、従来から言われてきた、利き腕の高い神経伝導速度は必ずしも末梢神経の神経幹レベルのサイズ増加によるものではないことが明らかとなった。
- (2) 上肢だけでなく下肢においても末梢神経の神経伝導速度は神経幹レベルでの太さに関係しないこと、左右利き側の優位性は上肢と異なり、下肢では反応脚で脛骨神経の伝導速度が高いにもかかわらず、その神経横断面積には違いが認められず、末梢神経の形態と機能には上・下肢の機能的な特異性が存在する可能性が示された。
- (3) 同一被験者における上・下肢の比較によって、下肢が上肢と比較して、肢周径囲、神経横断面積、神経伝導速度、それぞれにおいて高い値を示した。また、上・下肢ともに遠位部よりも近位部の肢周径囲と神経横断面積が大きいにもかかわらず、神経伝導速度は低かった。これらの結果、上・下肢にかかわらず、神経横断面積は肢周径囲とは関係するが、神経伝導速度の機能向上には必ずしも関係せず、神経の太さ以外に伝導速度に影響を及ぼす要因について検討する必要性が確認された。
- (4) やり投げ、テニス、剣道など上肢で道具を扱う競技群は、それ以外の競技群(サッカー、短距離走、走幅跳)と比較して上肢の尺骨神経の伝導速度は高いにもかかわらず、その神経横断面積には違いが認められなかった。一方、下肢では、神経伝導速度には違いが認められず、剣道の支持脚で肢周径囲が大きく神経横断面積は小さい傾向を示した。これにより、繰り返し動作によるエキセントリックな運動による筋肥大では、腱の合成と同様に、神経においても肥大を誘発するような組織の合成は促されない可能性が示唆された。
- (5) 性差において、末梢神経の神経伝導速度は、女性において上肢の尺骨神経の運動神経伝導速度が高かったが、下肢の脛骨神経では、男女差は見られなかった。これまで、男女の神経伝導速度の違いは、身長の違いが末梢神経の長さに関係し、その神経が伸び縮みする量が軸索直径やランビエ絞輪間距離に影響を及ぼすとされてきた。本研究の結果である、上肢の尺骨神経における神経横断面積は女性で小さいにもかかわらず、神経伝導速度が高かったことを踏まえると、神経の太さだけでなく、ランビエ絞輪間距離など他の要因が上肢の神経伝導速度に性差をもたらしている可能性がある。一方、下肢

の脛骨神経においては、神経伝導速度とその神経横断面積に性差は確認できなかった。このように男女の上・下肢で異なる特徴を示したことから、後天的な環境要因による性差は、より詳細な検討が求められる。

以上の結果から、末梢神経の神経幹とその伝導速度の直接測定により、左右の一側優位性、上・下肢間、近・遠位部間、競技スポーツ間、性差に末梢神経の形態的および機能的違いが存在することを示し、神経横断面積は肢周径囲とは関係するが、神経伝導速度の機能向上とは必ずしも関係しないことが明らかとなった。これにより、従来の研究では神経伝導速度の高低には神経の太さのみが影響を与えるとされてきたが、それ以外の後天的環境要因の重要性についても確認された。

審査結果の要旨

(論文審査)

本論文は、高周波プローブを備えた超音波装置を用いてヒトの生体における末梢神経の神経幹の太さと運動神経伝導速度との関係を明らかにし、上下肢における左右側の特徴や、スポーツ競技や性差による特異性について検討することで、ヒトの末梢神経の形態と機能の関係と、その可塑性についてまとめたものである。

それらの特異性について検討した結果、(1) ヒトの利き腕の高い神経伝導速度は、利き腕の発達した筋量や神経幹の太さによるものではないこと、(2) 上肢だけでなく下肢においても末梢神経の神経伝導速度は神経幹レベルでの太さとは関係しないこと、(3) 左右利き側の優位性は上肢と異なり、下肢では、支持脚の方が周径囲が大きいにもかかわらず、神経伝導速度は支持脚の方が低いこと、(4) 同一被験者における上・下肢の比較においても、肢周径囲、神経幹横断面積と神経伝導速度のそれぞれの値は上肢と比較して下肢で大きいこと、(5) 上・下肢とも神経幹横断面積は近位の方が遠位よりも大きいにもかかわらず、その神経伝導速度は遠位の方が高いこと、(6) やり投げ、テニス、剣道の上肢で道具を扱い力発揮を行うスポーツ競技選手では、高い尺骨神経の伝導速度が確認され、それらは神経幹横断面積の大きさには起因しないこと、一方、下肢では、スポーツ競技間で神経伝導速度には違いが認められなかったこと、(7) 上肢の尺骨神経における神経幹横断面積は男性に比べて女性で小さいにもかかわらず、神経伝導速度は女性で高く、一方、下肢の脛骨神経においては、神経伝導速度とその神経幹横断面積に性差がない 7 点が明らかにされた。これらの結果は、先行研究の動物実験の結果と異なり、ヒトの上下肢、さらに左右側で見られた末梢神経の形態と機能の特徴が後天的な環境要因で変化する可能性を示し、トレーニングなどによって機能や形態的な向上が示唆される知見が得られた。

論文審査の結果、本文中の語彙の統一や本文中の文章表現、測定方法に関する追記・修正、結果の要約の追記、考察で統括した形での論議や、実験課題のデザインについての追記について指摘され、修正がなされた。超音波装置を用いてヒトの末梢神経の神経幹の太さと運動神経伝導速度との関係を明らかにし、上下肢における左右側の特徴や、スポーツ競技や性差による特異性について明らかにした点、ヒトの末梢

神経の形態と機能の関係とその可塑性についてまとめた点を評価した。

そこで、提出された論文は、博士論文の水準を満たしていると判定された。

(最終試験)

提出論文及び関連することがらについて口頭試問を行なった結果、博士の学位授与の基準を満たしていると判断されたので、合格と判定した。