

加齢に伴った運動制御則の変化に基づく多数筋の協調活動メカニズムの解明
埼玉県立大学大学院 保健医療福祉学研究科 博士論文
指導教員:金村尚彦 教授 2022年3月 2091006 久保田圭祐

要旨

加齢に伴う個々の筋の筋出力低下は、目的とする動作の達成に必要な関節トルク生成および下肢先端出力発揮に対して、異なる筋活動パターン生成の要因となり得る。筋の同時収縮は、その特徴的な筋活動パターンの変化の一つで、関節安定化の観点から重要である。その一方で、二関節筋を含む多数筋の筋活動パターンは、当該関節のみならず、同時に隣接関節にも力を及ぼすため、厳密に言うとは関節安定化機構としての同時収縮であると決定づけることができない。これはむしろ、同時収縮としてではなく、多数筋の協調活動として四肢先端から発揮される力の方向を制御するための重要な筋活動制御機構であると考えられる。これまで、高齢者における多数筋の協調活動パターンは、一貫して関節安定化機構として、転倒リスクの増加や歩行効率の低下、さらには関節変性疾患の発症と進行に強く関与することが報告されてきた。その一方で、関節トルク生成および下肢先端出力の制御において、これら多数筋の協調活動パターンがどのように貢献していたか、その高齢者に特徴的なメカニズムは明らかにされていない。その理由は、筋活動に対する解析手法には CCI しか存在せず、主動作・拮抗筋の 1 対間の筋活動の定量化しか行うことができなかったことが挙げられる。そこで、本研究では、CNS による筋活動制御機構に着目し、運動制御則の違いから、下肢主要な多数筋の協調活動パターンについて、各筋間の同時収縮の関与とともに、そのメカニズムを解明することを目的とした。そのために、研究 1 では、筋シナジー解析を用いて、歩行という動的タスクにおける下肢主要筋群の加齢特異的な多数筋の協調活動パターンを明らかにする。そして、研究 2 ではコサインチューニングと FCM を用いて、各筋 PD という運動制御則に基づいて、股・膝関節トルク制御及び下肢先端出力制御に対する多数筋の協調活動パターンの高齢者特徴的なメカニズムを明らかにした。

研究 1 では、筋シナジー解析を用いて、下肢・体幹の主要 16 筋を対象に歩行中の同時収縮について、加齢特異的な時空間的構成要素を明らかにした。その結果、高齢者は、若齢者を比較して、歩行周期中に構成されるモジュールが少ないことが示唆された。モジュール数の減少は、ハムストリングスで構成される遊脚後期のモジュールと

大殿筋と大腿四頭筋で構成される立脚初期のモジュールの結合、すなわち同時収縮を意味していた。以上の結果から、高齢者における多数筋の協調活動パターンは、立脚初期における股・膝関節周囲筋群に特徴的で、これらは加齢に伴う筋出力低下や関節不安定性に対する代償的な関節剛性としての役割を持つことが推測された。

その一方で、上述したように二関節筋が関与する多数筋の協調活動パターンは、隣接関節にトルクを生成し、下肢先端出力の方向制御に関与する。そこで、研究2では、股・膝関節トルク制御、さらには下肢先端出力を制御するための多数筋の協調活動パターンについて、若齢者と高齢者間の運動制御則の変化から、高齢者に特徴的なメカニズムを明らかにした。その結果、高齢者は、股・膝関節トルク生成及び下肢先端出力の制御に、若齢者とは異なる多数筋の協調活動パターンによって達成される可能性が示唆された。特に、股・膝関節伸展トルク生成及び下肢先端出力ベクトルの下方への制御において、RFとハムストリングスが高い貢献を示すことが明らかとなった。さらに、このことは、RF - ハムストリングス間の同時収縮が増加することを示唆していた。これらの結果は、各筋PDの偏位という運動制御則の変化によって生じることが明らかとなった。以上のことから、RFとハムストリングスの同時収縮は高齢者にとって普遍的な多数筋の協調活動パターンであることが示唆された。

本研究は、コサインチューニングの観点から高齢者における多数筋の協調活動パターンに着目したことによって、そのメカニズムの解明に有用な知見を提供する結果となった。さらに、今後、有症患者への応用において、多数筋の協調活動パターンの評価と治療介入に対する新たなリハビリテーション確立に多大に貢献する。