

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名：稲葉優希

ヒトの多方向への移動動作は、日常生活だけでなくスポーツ場面においても頻繁にみられる。例えば、バスケットボールやサッカーなどのスポーツにおいて、横や斜め方向に素早く移動する能力は、勝敗を左右し得る重要な要因である。しかし、ヒトの多方向への移動動作がどのように制御され、全身がどのように協調することにより成り立っているかについては明らかになっていない点が多い。本研究では、ヒトの多方向移動動作、主に横や斜め方向への移動動作における全身の制御や協調について明らかにしており、その内容は以下のようにまとめられる。

【研究Ⅰ】多方向移動動作における予測的姿勢調節

主動作が開始される以前の筋活動や足圧中心（COP）の動きは、予測的姿勢調節と呼ばれ、スムーズに身体重心（COM）を前方へ加速し、外乱を最小限に抑える役割を果たす。この予測的姿勢調節は、動作の非常に早い段階で行われ、運動プログラムを反映するといわれている。しかし、多方向移動に関する予測的姿勢調節に関する研究は未だみられない。そこで、研究Ⅰでは、静止立位からの水平面上の多方向移動動作を対象に、移動方向調節方略を明らかにした。被験者に異なるスピード条件「①自然なスピード②できる限り速く」で、前方・斜め3方向・横方向の計5方向への踏み出し動作を行わせ、動作の初期局面で観察される筋活動・関節モーメント及びそれに伴ってコントロールされるCOMとCOPの軌跡を検討した。その結果、横方向へ移動において、前脛骨筋の活動及びヒラメ筋の活動が減少する局面が現れ、前脛骨筋の活動が増大する。一方、横方向へ移動する際には、予測的姿勢調節期においてヒラメ筋を継続的に活動させて、更に前脛骨筋の活動を減少させることにより、COPの後方移動量を減少させていた。また、前方への移動動作において、COPは先行する足側へ一旦移動することが示されていたが、横方向へ移動する場合には先行する足側へのCOPの移動も消滅した。このように、COPとCOMの間に生じる‘ずれ’の方向と大きさを筋活動によって調節することにより、COMを目的とする方向へ加速させていることが明らかとなった。

【研究Ⅱ】倒立振り子モデルを用いた移動方向調節機序の検討

研究Ⅱでは、移動方向を決定する機序を解明するために、単セグメントの倒立振り子モデルによる、COM移動軌跡の予測を行った。このモデルは、予測的姿勢調節期終了時点でのCOMの位置と速度を初期条件として与え、それ以降のCOMの軌跡は4次のルンゲクッタ法を用いて予測するというものである。その結果、踏み出し動作遂行中の水平面上のCOMの軌跡を予測することができ、特に動作を素早く行う場合に顕著であった。つまり、

素早く横・斜め方向へ踏み出す動作においては、予測的姿勢調節期という非常に早い段階で移動方向を決定するための積極的な制御がほぼ終了していることが明らかとなった。換言すると、予測的姿勢調節期以降には追加の移動方向調節はほとんど行われず、身体は予測的姿勢調節期以降、重力の影響により振り子が倒れる方向に加速されていることが分かった。また、速くステップする条件においては蹴り足において積極的な床への力発揮を行っているにも関わらず、倒立振り子モデルが実際の COM の軌跡を予測できたことから、それは予測的姿勢調節期以降に重力で加速される方向と一致した方向への床への力発揮であったと考えられた。

【研究Ⅲ】横方向への推進力獲得メカニズムの解明

次に、多方向への移動動作における推進力獲得メカニズムを明らかにするために、まず前方への移動動作と比較して前額面上の動き、股関節外転動作が大きくなる横方向への移動動作を検討した。この横方向への移動動作の機序、つまり、下肢のどの関節のどの軸周りの関節モーメントが横方向への推進力の獲得に貢献しているかは明らかにされていない。そこで、横方向への移動距離を増大させた時の下肢3関節の関節モーメントの推進力獲得への貢献を検討した。その結果、まず、股関節・膝関節・足関節の屈曲・伸展動作及び股関節外転動作は移動距離の増大に伴い増加することが確認された。その際の各関節の各軸周りに発揮される関節モーメント、関節仕事量を定量すると、各関節の伸展モーメント（底屈モーメント）及びそれらによる仕事量は距離の増大に伴い増加するが、股関節外転モーメントおよびその仕事量は増加しないことが明らかになった。したがって、本研究によって、横方向への移動動作において、動作としては股関節外転が特徴的に大きくなるが、横方向への推進力獲得に貢献しているのは各関節の伸展モーメント及びその仕事であることが明らかになった。

稲葉優希氏の博士論文は、次のように総括できる。ヒトは様々な方向へ移動する際、移動方向及び速度の調節を動作の非常に早い段階、すなわち先行する足の踵が離地するタイミングまでに決定させており、その段階の調節だけでは獲得できない推進力は各関節の伸展モーメント発揮によって獲得していることが明らかとなった。ただし、スポーツ場面などにおいて必要とされるように、更に大きな推進力を獲得する必要がある際には、下肢伸展モーメントを増大させなければならないが、その結果発揮される床反力は、動作初期段階での積極的な筋活動により“投げ出された”結果生じる加速方向と一致することが確認された。積極的な力発揮方向が、重力の影響下で身体が傾斜する方向と一致していれば、筋による力発揮はより効果的となるということである。これらの一連の研究から得られた知見は、ヒトの多方向への移動に関わるバイオメカニクスおよび神経制御において極めて重要な研究であり、身体運動科学の分野における意義は非常に大きい。したがって、本審査委員会は博士（学術）の学位を授与するにふさわしいものと認定する。