

【序論】

ヒトは多肢を協調させて複雑な身体運動を再現する。多肢の協調動作のメカニズムを解明するための研究は、これまで周期的な二肢の協調動作をモデルとして多く行われてきた。その研究の中で、同側二肢（右手、右足など）では二肢を同方向に動かすときは安定するが、逆方向に動かすときは特に不安定（方向性制限）であることが分かっている。また、対側二肢（右手、左足など）では逆方向でも協調動作がさほど不安定ではないことが分かっている。なぜ、同側二肢と対側二肢ではこのような差がみられるのであろうか。両者では神経制御のメカニズムが異なるのではないだろうか。このメカニズムの違いを説明しうる可能性として、対側二肢の逆方向動作は歩行など日常動作で頻繁に繰り返されており、オープンループな制御が貢献している可能性がある。つまり、対側二肢の協調動作では同側二肢の場合よりも、より“自動化”された運動制御機構が関わっているのではないだろうか。その仮説を検討することを目的とした。

【方法】

被験者は健常で右利きの成人 10 名とした。被験者は座位で右前腕を回内位で肘掛に固定し、左足は矢状面上で背屈・底屈方向にのみ動かせる板の上に固定した。動作課題は足関節の動き方(active・passive)と二肢の動作方向(同方向・逆方向)と動作速度(1.5Hz・2.5Hz)を組み合わせる 8 種類のタスクを行った。被験者は閉眼状態でタスクを行った。active では、被験者はメトロノームの音に合わせて手関節と足関節を随意的に動かした。passive では、験者が被験者の足に固定した板を動かした。被験者は足関節の動きのみを頼りに手関節を動かした。手足の各関節の角度変位の位相差をパフォーマンスの指標とした。

【結果と考察】

協調動作は動作が速い方がパフォーマンスは低くなることが示された。また、1.5Hz 群の 4 種類のタスク全て高いパフォーマンスを示したが、active タスクで逆方向動作が同方向動作よりわずかに低いパフォーマンスを示した。つまり、1.5Hz 群は方向性制限の程度が小さいことが分かる。2.5Hz 群のパフォーマンスは、active タスク・passive タスクともに逆方向動作が同方向動作に比べて低くなった。また 1.5Hz 群よりも動作方向間のパフォーマンスの差が大きくなり、方向性制限の程度が大きかった。

1.5Hz 群と 2.5Hz 群では互いに active タスクと passive タスク間でのパフォーマンスの差は無かった。だが、1.5Hz では動作速度が遅いため、協調動作そのものの難易度が低かったと考えられ、passive タスクも方向性制限が顕著に現れる閾値に達していなかった可能性がある。そのことによりパフォーマンスの差が出なかったと考えられる。また、2.5Hz のタスクでは足関節の動かし方に関わらず、逆方向動作の方が同方向動作よりも難しかった。これらのことを踏まえると、遅い速度の場合では能動動作において、自動的な制御機構が関与している可能性があり、一方で速い動作の場合はクロズドループにフィードバック制御が行われていると考えられ、仮説とは異なり自動的な制御機構の貢献は限りなく小さいことが考えられる。

【結論】

遅い対側二肢の能動的な協調動作においては、方向性制限はほとんど見られなかったため、自動的な制御機構が関与する可能性がある。速い対側二肢の能動的な協調動作は、受動動作を含む協調動作と同様に、方向性制限が顕著に見られる場合があることが示された。その要因は、動作速度が上昇することにより、自動化された制御から離れ、フィードバック制御になるためだと示唆された。

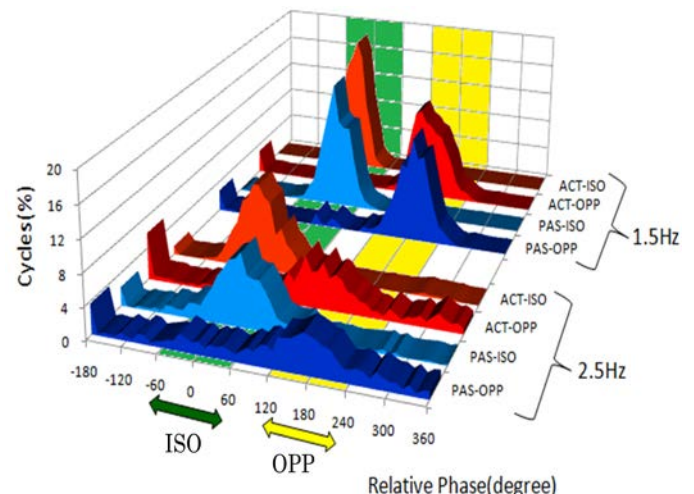


図. 位相差分布図

各タスクの位相差の分布を表す。縦軸は全サイクルに占めるサイクル数の割合を表し、横軸は位相差を表す。ACT・PAS はそれぞれ active・passive を表し、ISO・OPP はそれぞれ同方向・逆方向を表す。

波形の作る山が、動作方向ごとに緑（同方向動作の成功範囲：0 ± 60°）か黄色（逆方向動作の成功範囲：180 ± 60°）の矢印の範囲内に位置し、高く広がり方が狭いほどパフォーマンスが高い。