

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 9 月 10 日現在

機関番号：33305

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26350814

研究課題名(和文) 下肢運動の自動化にける下肢の各部位の運動の役割および準備脳活動

研究課題名(英文) Differences of functional role of segment lower limb exercise and attention in automatization of lower limb exercise

研究代表者

外山 寛 (TOYAMA, Hiroshi)

金沢学院大学・人間健康学部・教授

研究者番号：10172206

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：歩行様の周期的下肢運動(足踏み運動)の自動化における、腰部、股関節、膝関節、足関節の周期運動の役割と脳の準備状態を検討した。

若年成人を対象に、周期的な腰部回旋運動、股関節屈曲運動、膝関節屈曲運動、および足関節背屈運動を個別に行わせ、一過性の上肢運動を周期運動の複数の時相で並行させた。その結果、腰部回旋運動のみの周期が上運動を並行するタイミングの違いによって有意に変化した。さらに、随伴陰性変動(CNV)の振幅も変化した。これらの結果から、周期的下肢運動の自動化における腰部回旋運動の機能的役割の重要性と、腰部回旋運動の時相によって上肢の並行運動を遂行する際の注意の程度が異なることが推察される。

研究成果の概要(英文)：Motor performance of simultaneous control of transitory bilateral upper limbs exercise and periodic segment lower limb exercise and contingent negative variation (CNV) were recorded. Degree of interference between the upper and periodic waist rotation was changed by execute timing of the upper limbs. The change of CNV amplitude was corresponded to the interference degree. These changes were not observed periodic hip joint flexion, knee joint flexion and ankle dorse flexion. These data suggest that the waist rotation play an important role for automatization of lower limb exercise. And attention for simultaneous control of the upper limbs exercise and waist rotation may differ with execute timing of the upper limbs exercise.

研究分野：運動生理学

キーワード：随意運動の自動化 干渉 CNV 身体運動部位

研究開始当初の背景

ヒトの周期的下肢運動の調節は、上肢運動に比べて自動化されていることを、我々は明らかにしてきた。下肢運動の自動化は、立位姿勢の保持時や二足歩行時に、それらとは直接的には関係しない上肢運動や外界の変化に対して注意を向けるなどの重複課題の遂行を可能にする重要な調節様式であると考えられる。本研究では、健康な若年成人を対象に、歩行様の周期的下肢運動(足踏み運動)に関与する腰部、股関節、膝関節、足関節の各周期運動の自動化水準を個別に検討し、下肢運動の自動化における下肢の各部位の運動の役割と脳の準備状態を明らかにする。自動化水準の評価は、一過性の上肢運動を並行する際の運動間の干渉の大きさと、脳の準備状態の評価は脳波(随伴陰性変動: CNV)の振幅の変化を用いて行う。

研究の目的

日常生活においては、上肢ないし下肢の運動を行いながら他肢による運動を同時に行うことがある。その場合には、両運動間の干渉が小さいことが有利に作用することもしばしばあると推察される。この様な並行運動において干渉が小さくなるには、運動が自動化されていることが必要であると考えられる(Dewitt, 1972; Debu & Woollacott, 1988; Woollacott, 1987)。

我々は、立位姿勢の獲得による上肢と下肢の機能分化を考慮に入れて、上・下肢の運動を並行する場合の調節について一連の研究を進めてきている。それらの研究では、上肢ないし下肢の周期運動と他肢による一過性の運動を並行した場合に、運動間の干渉が生じることを把握し、その程度を指標に用いて上肢と下肢の周期運動の自動化水準を評価する方法を確立した(外山、藤原, 1990)。この上・下肢の並行運動を用いて、下肢の周期運動(左右側交互の足踏み運動と足関節による底屈運動)と上肢の周期運動(左右側交互の肩関節の屈曲運動と手関節による掌屈運動)の自動化水準を検討した結果、下肢の周期運動の自動化水準は、上肢の周期運動のそれに比べて高いこと、下肢の周期運動の中でも歩行様の下肢運動(足踏み運動)の自動化水準が極めて高いことが明らかにされた(Toyama & Fujiwara, 1997)。この知見は、立位姿勢の獲得による上肢と下肢の機能分化のひとつを具体的に示すものと考えられる。

最近の我々の研究(基盤研究 C (平成 20 年度~平成 22 年度、研究代表者: 外山寛))では、自動化水準が低い運動と他の運動を並行する場合の準備脳電位を検討した。運動を遂行する前の脳の準備状態を評価できる脳波の指標に、随伴陰性変動(CNV)がある。CNV の振幅は注意の程度によって変化すると推察され(Tecce, 1972)、藤原(研究分担者)らはその現象を具体的に把握した(Fujiwara et al., 2004; Fujiwara et al. 2007)。その手

法を用いて、上・下肢運動を並行する場合の CNV を記録した。その結果、自動化水準が低いことが確認されている上肢運動を行いながら一過性の下肢運動を並行する場合は、自動化水準が高いことが確認されている下肢運動を行いながら一過性の上肢運動を並行する場合に比べて、CNV の振幅が有意に大きかった。このように、運動の自動化水準と準備脳電位との対応関係が明らかにされた。本研究では、下肢の各部位の運動における準備脳活動を評価する指標の 1 つとして CNV の振幅を用いる。

本研究では、一般成人を対象として、下肢運動の自動化における腰部、股関節、膝関節、足関節の各運動の役割と脳の準備状態を明らかにする。身体の基節部の運動は、末節部の運動を行う場合にシナジーを形成して末節部の運動の遂行を支えていることが多々ある。その際の基節部の運動は、無意識的に制御されると推察される。このことから、下肢の部位では、腰部や股関節の運動の自動化水準が高いことが推察され、その様相が本研究で明らかになる。運動課題は、下肢の各部位を用いた周期運動時に一過性の上肢運動を挿入するものとする。下肢の各部位による運動の自動化水準の差異は、上肢運動を挿入した際に生じる下肢運動への干渉の程度で評価する。脳の準備状態は、随伴陰性変動(CNV)の振幅の変化で評価する。検討する課題は、次の 3 つである。

(1) 腰部、股関節、膝関節、足関節の各運動に限定した場合の周期的下肢運動時に一過性の上肢運動を行う場合、運動部位によって上肢運動の干渉の程度が異なるか。

(2) 一過性の上肢運動の遂行に向けた随伴陰性変動(CNV)の振幅は、(1)の干渉の程度と対応関係が認められるか。

研究の方法

1) 周期的下肢運動の自動化における腰部回旋運動の役割と脳の準備状態

(1) 被検者

一般成人 13 名(年齢: 20.0 ± 2.5 歳)を被験者とした。

(2) 運動課題

被験者には、立位での腰部の周期的な回旋運動時に一過性の左右側同時の掌屈運動を行わせた。

回旋運動は、新たに作成した回旋盤の上で行わせた。回旋の角度は、ストッパーを用いて左回旋と右回旋それぞれ 10° とした。左回旋運動から右回旋運動の切り替えの時間間隔は、周期音刺激(電子メトロノーム音)を用いて 1000 ms に設定した。回旋運動遂行時の周期は、回旋盤に装着した加速度計の出力で把握した。手掌は、立位時に肘関節角度が 90° 屈曲位となる高さに設置したテーブルの上で行わせた。

一過性の手掌運動は、周期音刺激を消去した条件下で、警告刺激(S1) 反応刺激(S2)

- 反応課題パラダイムを用いて、腰部回旋運動中に行わせた。掌屈運動の実施タイミングは、左右の手掌に取り付けた圧力センサーの出力で把握した。S1とS2には、それぞれ1 KHzと2 KHzの音刺激を用い、時間間隔を2秒とした。S2の提示は、腰部回旋角度が左回旋と右回旋のそれぞれ10°に達した時点から、0 ms(運動方向の切り替え時点)と500 msの遅れ時間で行った。

試行は、アーチファクトのないCNV波形が17試行以上記録されるまで反復した。その試行数は、概ね40試行以下であった。10試行毎に座位での30秒間の休憩を設定した。

(3) 分析項目

一過性の掌屈運動を行うタイミングと腰部回旋運動の周期の変化の差異、およびCNV振幅の差異を把握した。腰部回旋運動の周期の変化は、回旋盤に装着した加速度の出力で把握した。CNVは、国際10-20法に基づくCzから導出した。基準電極は両耳朶連結とし、アース用電極はFpzに取り付けた。瞬き運動や眼球運動によるCNVへのアーチファクトの混入を排除するため、眼球電図(ENG)法を用いて眼球運動を同時に記録した。CNV振幅は、ENGないしCNVの振幅に100 μ V以上の変動がある試行を除外した17試行以上のデータを加算平均して求めた。

2) 周期的下肢運動の自動化における股関節屈曲運動の役割と脳の準備状態

(1) 被検者

一般成人7名(年齢:23.1 \pm 3.2歳)を被験者とした。

(2) 運動課題

被験者には、立位にて左右側交互の周期的な股関節屈曲運動時に一過性の左右側同時の掌屈運動を行わせた。膝関節は伸展位を保持させた。股関節屈曲角度は、通常の足踏み運動時の屈曲角度を参考に、30°とした。股関節屈曲運動の開始時間間隔は、周期音刺激(電子メトロノーム音)を用いて1000 msに設定した。股関節屈曲運動遂行時の周期は、左右の踵に圧力センサーを装着し、離地している踵が接地するタイミングで把握した。一過性の掌屈運動の実施方法は、腰部回旋運動を用いた研究と同様にS1-S2パラダイムを用い、股関節屈曲運動時に行わせた。S2の提示は、左右それぞれの離地している踵が接地する時点を基準に、0 msと500 msの遅れ時間で行った。

(3) 分析項目

一過性の掌屈運動を行うタイミングと股関節屈曲運動の周期の変化の差異、およびCNV振幅の差異を把握した。CNVの記録方法と分析方法は、腰部回旋運動を用いた研究と同じである。

3) 周期的下肢運動の自動化における膝関節屈曲運動の役割と脳の準備状態

(1) 被検者

一般成人6名(年齢:25.1 \pm 1.8歳)を被験者とした。

(2) 運動課題

被験者には、立位にて左右側交互の周期的な膝関節屈曲運動時に一過性の左右側同時の掌屈運動を行わせた。膝関節角度は45°とした。股関節は伸展位を保持させた。膝関節屈曲運動の開始時間間隔は、周期音刺激(電子メトロノーム音)を用いて1000 msに設定した。膝関節屈曲運動遂行時の周期は、左右の踵に圧力センサーを装着し、接地している踵が離地するタイミングで把握した。一過性の掌屈運動の実施状況は、腰部回旋運動を用いた研究と同様にS1-S2パラダイムを用い、膝関節屈曲運動時に行わせた。S2の提示は、左右それぞれの接地している踵が離地する時点を基準に、0 msと500 msの遅れ時間で行った。

(3) 分析項目

一過性の掌屈運動を行うタイミングと膝関節屈曲運動の周期の変化の差異、およびCNV振幅の差異を把握した。CNVの記録方法と分析方法は、腰部回旋運動を用いた研究と同じである。

4) 周期的下肢運動の自動化における足関節背屈運動の役割と脳の準備状態

(1) 被検者

一般成人4名(年齢:25.4 \pm 5.4歳)を被験者とした。

(2) 運動課題

被験者には、立位にて左右側交互の周期的な足関節背屈運動時に一過性の左右側同時の掌屈運動を行わせた。足関節背屈角度は5°とした。足関節背屈運動の開始時間間隔は、周期音刺激(電子メトロノーム音)を用いて1000 msに設定した。足関節背屈運動遂行時の周期は、左右の中足骨骨頭部に圧力センサーを装着し、接地している中足骨骨頭部が離地するタイミングで把握した。一過性の掌屈運動の実施状況は、腰部回旋運動を用いた研究と同様にS1-S2パラダイムを用い、膝関節屈曲運動時に行わせた。S2の提示は、左右それぞれの接地している中足骨骨頭部が離地する時点を基準に、0 msと500 msの遅れ時間で行った。

(3) 分析項目

一過性の掌屈運動を行うタイミングと足関節背屈運動の周期の変化の差異、およびCNV振幅の差異を把握した。CNVの記録方法と分析方法は、腰部回旋運動を用いた研究と同じである。

研究成果

1) 一過性の掌屈運動を行うタイミングと腰部回旋運動の周期の変化、およびCNV振幅

図1に、腰部回旋運動の周期の変化を示す。一過性の掌屈運動を腰部回旋の運動方向が

切り替わる時点(0 ms の遅れ時間)で行った場合、腰部回旋運動の周期の変化は、500 ms の遅れ時間で行った場合に比べて、小さかった。

図 2 に、CNV 振幅の変化を示す。一過性の掌屈運動を腰部回旋の運動方向が切り替わる時点(0 ms の遅れ時間)で行った場合、の CNV 振幅は、500 ms の遅れ時間で行った場合に比べて小さく、左回旋では有意差が認められた。

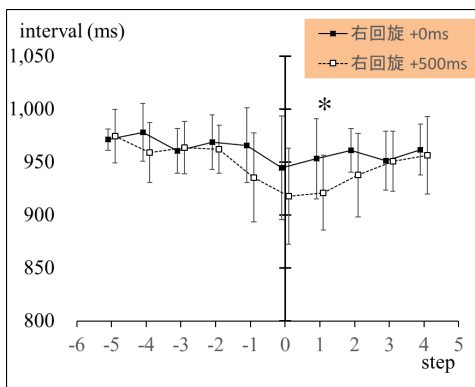
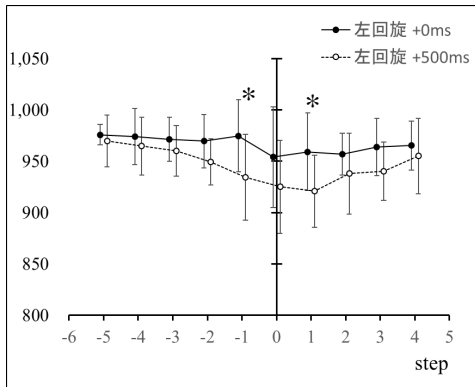


図 1 一過性の掌屈運動を行うタイミングと腰部回旋運動の周期の変化の差異。ステップ 0 は、掌屈運動が並行してなされたステップを示す。上段は腰部の左回旋。下段は腰部の右回旋。*: $p < 0.05$

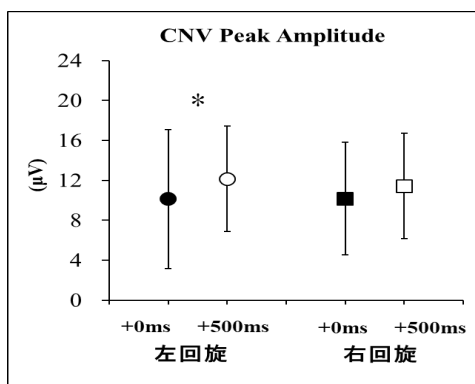


図 2 腰部回旋運動時の一過性の掌屈運動を行うタイミングと CNV 振幅の差異。*: $p < 0.05$

2)一過性の掌屈運動を行うタイミングと股関節屈曲運動の周期的運動の周期の変化、および CNV 振幅

一過性の掌屈運動を行うタイミングによる股関節屈曲運動の周期の変化(図 3) および CNV 振幅の変化(図 4)に有意な差異は認められなかった。

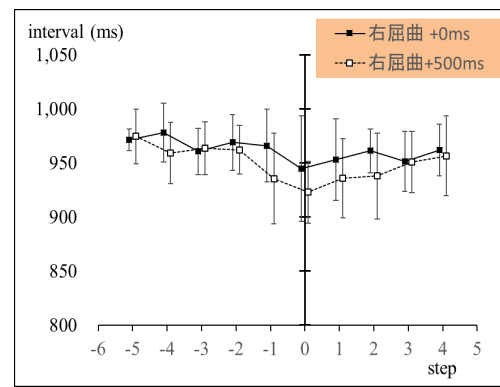
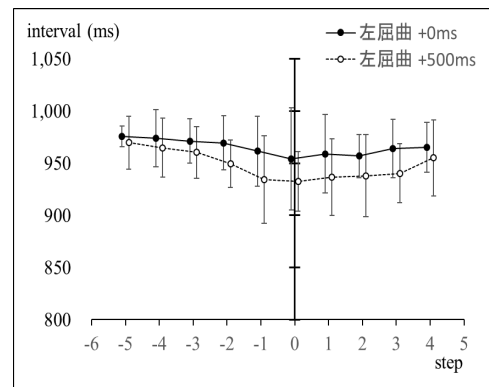


図 3 一過性の掌屈運動を行うタイミングと股関節屈曲運動の周期の変化の差異。ステップ 0 は、掌屈運動が並行してなされたステップを示す。上段は左股関節の屈曲。下段は右股関節の屈曲。

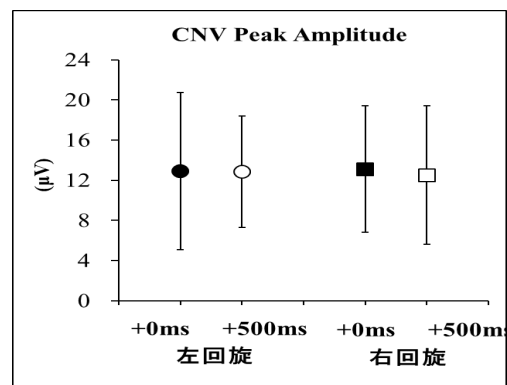


図 4 股関節屈曲運動時の一過性の掌屈運動を行うタイミングと CNV 振幅の差異。

3) 一過性の掌屈運動を行うタイミングと膝関節屈曲運動の周期的運動の周期の変化、および CNV 振幅

一過性の掌屈運動を行うタイミングによる膝関節屈曲運動の周期の変化(図5) および CNV 振幅の変化(図6) に有意な差異は認められなかった。

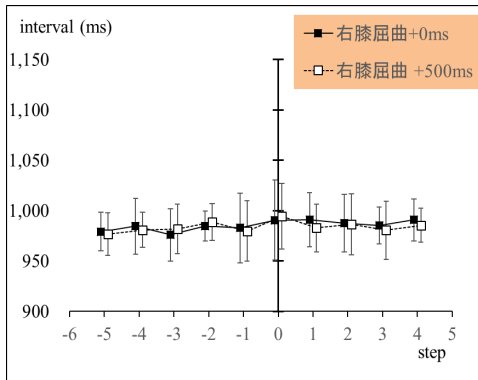
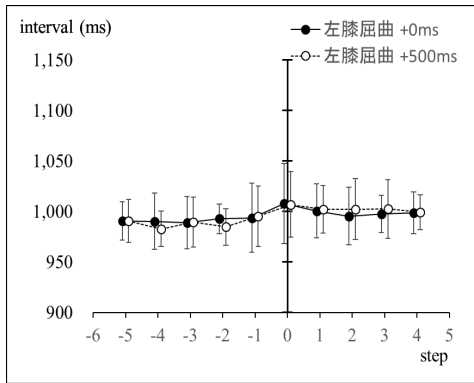


図5 一過性の掌屈運動を行うタイミングと膝関節屈曲運動の周期の変化の差異。ステップ0は、掌屈運動が並行してなされたステップを示す。上段は左膝関節の屈曲。下段は右膝関節の屈曲。

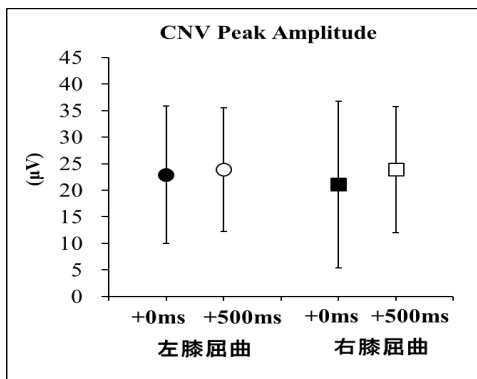


図6 膝関節屈曲運動時の一過性の掌屈運動を行うタイミングと CNV 振幅の差異。

4) 一過性の掌屈運動を行うタイミングと足関節背屈運動の周期的運動の周期の変化、および CNV 振幅

一過性の掌屈運動を行うタイミングによる足関節背屈運動の周期の変化(図7) および CNV 振幅の変化(図8) に有意な差異は認められなかった。

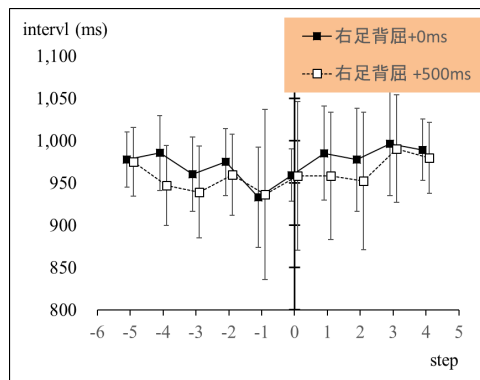
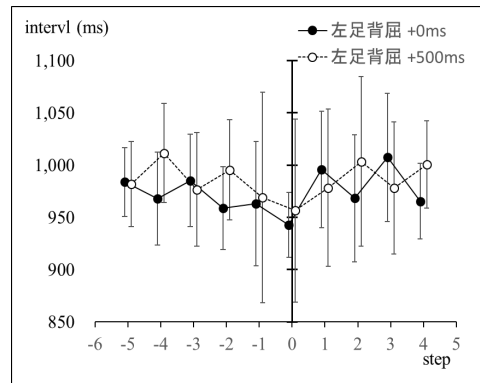


図7 一過性の掌屈運動を行うタイミングと足関節背屈運動の周期の変化の差異。ステップ0は、掌屈運動が並行してなされたステップを示す。上段は左足関節の背屈。下段は右足関節の背屈。

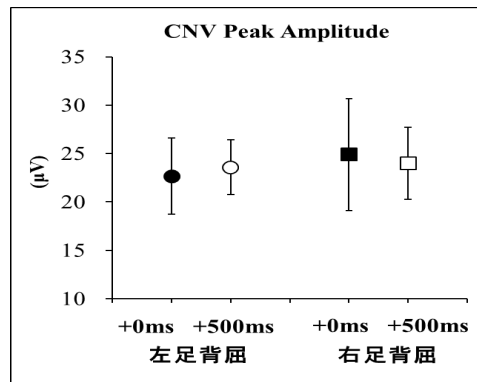


図8 足関節背屈運動時の一過性の掌屈運動を行うタイミングと CNV 振幅の差異。

結論

一過性の掌屈運動を行うタイミングの違いによって、下肢の周期運動の周期および CNV 振幅に差異が認められた運動は、腰部回旋運動のみであった、その変化の様相は、腰部回旋の運動方向が切り替わる時点（0 ms の遅れ時間）では、中間の動作相（500 ms の遅れ時間）に比べて、腰部回旋運動の周期の変化と CNV 振幅が小さかった。この結果からは、腰部回旋運動の自動化水準が高く、周期的な下肢運動の自動化における腰部回旋運動の機能的役割が大きいことが推察される。さらに、CNV 振幅からは、腰部回旋の運動方向が切り替わる時点に比べて、中間の動作相では下肢運動時に上肢運動を並行して行う場合に注意の集中が強くなされていると推察される。

5. 主な発表論文等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

外山 寛 (TOYAMA Hiroshi)
金沢学院大学・人間健康学部・スポーツ
健康学科・教授
研究者番号： 10172206

(2) 研究分担者

藤原勝夫 (FUJIWARA Katsuo)
金沢学院大学・人間健康学部・スポーツ
健康学科・教授
研究者番号： 60190089