

機関番号：13301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20500574

研究課題名（和文） 上・下肢の並行運動時の随伴陰性変動における運動経験の差異

研究課題名（英文） Influence of motor learning on contingent negative variation while performing simultaneous movement of upper and lower limbs

研究代表者

外山 寛 (TOYAMA HIROSHO)

金沢大学・医学系・准教授

研究者番号：10172206

研究成果の概要（和文）：3つの被験者群（バスケットボール群、サッカー群、一般成人群）を対象に、上・下肢運動を並行する場合の運動のパフォーマンスと随伴陰性変動(CNV)を記録した。その結果、上・下肢の運動を並行する場合の運動間の干渉が大きい場合に後期 CNV の振幅が大きいことが示された。これらの結果は、上・下肢の並行運動の実施に向けた脳の準備状況が学習による運動の自動化水準によって異なることを示唆するものと考えられた。

研究成果の概要（英文）：Motor performance of simultaneous control of the upper and lower limbs and contingent negative variation (CNV) were recorded for 3 subject groups (basketball-, soccer- and general adult-groups). In case that degree of interference between the upper and lower limbs movements was large, large amplitude of late CNV amplitude was recorded. These data suggest that cerebral state of preparation for simultaneous control of the upper and lower limbs is different with respect to automatization of limb movement.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：運動生理学

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：自動化、随伴陰性変動、運動経験、上肢運動、下肢運動

1. 研究開始当初の背景

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、以下に示すような多くの知見が得られた。本研究は、その並行制御を行う場合の脳機能を検討する研究として位置付けている。

これまでの研究において、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。それらの研究では、上肢ないし下肢の周期運動中に任意のタイミングで他肢による一過性運動を行う場合には、一過性運動の挿入が周期運動の特定の時相に集中して為されることが示された。その時相は、上肢の周期運動では左右いずれかの手掌がテーブルに接地する時点であり、下肢の周期運動では左右いずれかの足底が床に接地する時点であった。そこで、上・下肢運動を同時に行うタイミングを強制的に定めて両運動間の干渉の程度を把握したところ、一過性運動が挿入された周期運動の時相によって両運動間の干渉の程度が大きく異なることが示された(Toyama, Fujiwara et al., 1994)。また、先に述べた任意タイミングで為された一過性運動の挿入時相では上・下肢運動間の干渉が小さく、その他の時相では干渉が大きいという知見も得られた。このような干渉の程度の様相には、四肢間反射が関与していることが示唆された。

若年成人における上・下肢運動の自動化に及ぼす運動経験の影響を検討した研究(外山、藤原, 1994)では、発育期における上肢や下肢を用いた運動経験の様相がそれぞれの自動化水準に強く影響することが示された。スポーツ活動では、体移動のための下肢の周期運動が頻繁に為されることが多い。長期間にわたり、サッカーないしバスケットボールを行っている若年成人では、下肢の周期運動の自動化水準が一般の若年成人に比べて高いことが示された。とりわけ、ボール操作を下肢で積極的に行うサッカー選手の下肢周期運動は高度に自動化されていた。一方、ボール操作を上肢で頻繁に行うバスケットボール選手では上肢の周期運動の自動化水準が極めて高かった。さらに、ボール操作に上肢を直接的に使用することが少ないサッカー選手では、上肢の周期運動の自動化水準が一般若年成人に比べて著しく低かった。

これまでの研究では、上肢ないし下肢の周期運動時に、他肢による一過性運動を任意の

タイミングで挿入する場合には、挿入に向けて注意を集中している様子が観察された。その様相は、干渉が大きく生じる運動課題で顕著であった。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。これまで、多くの研究者によってCNVによる脳の準備状態の評価が、警告刺激-反応刺激-反応課題パラダイムを用いて為されてきた(Gaillard, 1977; Goshima, 1986; Lee et al., 1987; Macar, 1999; Kamijo et al., 2004)。警告刺激と反応刺激の時間間隔を一定にして反応課題を行う場合には、反応刺激が提示される約1秒前から頭蓋中央部(Cz)にCNVが優位に出現する。このCNVには、運動準備の状態が反映され、反応の速さを重視した条件下では明瞭な振幅が得られる。さらに、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)、藤原らはその現象を具体的に把握した(Fujiwara et al., 2004; Fujiwara et al. 2007)。これらの知見からは、周期運動時に一過性運動の挿入を反応課題で速やかに行う場合には、CNVが記録されると推察される。そして、一過性運動の挿入が周期運動との間で大きな干渉が現れる時相に設定された場合には、CNVの振幅は大きくなることが推察される。

2. 研究の目的

本研究では、上・下肢の並行運動の困難さと脳の準備状態との関係を把握し、それに及ぼす運動経験の影響を検討する。試行内容は、上肢ないし下肢の周期運動時に他肢による一過性運動を並行するものとする。

3. 研究の方法

被験者

測定の時点で、バスケットボール、ないしサッカーに9年以上の継続した競技歴を有する健康成人、および特定のスポーツ活動を3年以上継続して行ったことのない健康成人(コントロール群)とした。表1に被験者群の人数、身体特性、スポーツ経験年数を示す。

表1 被験者の人数、身体特性、スポーツ経験年数

Group	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	Expe. Yr. (years)
Basketball (n=10)				
Mean	21.5	166.1	59.0	11.1
SD	3.5	5.6	6.7	2.3
Soccer (n=4)				
Mean	22.8	170.3	65.1	12.3
SD	1.0	2.6	4.3	2.1
Control (n=10)				
Mean	23.3	164.4	54.6	
SD	5.7	12.0	9.2	

運動課題

被験者には、上肢ないし下肢の周期運動時に他肢の一過性運動を反応課題で可能な限り速やかに行わせる運動を課した。全ての試行は、上・下肢並行運動測定テーブルを前にして、立位姿勢で実施した。周期運動と一過性運動は、以下の内容とした。

周期的上肢運動は、測定テーブル上での左右側交互の周期的掌屈運動（タッピング）とした。その運動の周期は、測定テーブルに設置した左右側それぞれの圧力検出板の出力電圧の変化で把握した。周期的下肢運動は、足踏み運動とした。その運動の周期は、左右それぞれの足底に装着したフットスイッチの出力電圧の変化で把握した。周期運動の頻度は、音刺激を用いて毎分 100 回（刺激間隔は 600 ms）に設定した。音刺激は、電子メトロノームを用いて発生させた。

一過性上肢運動は、左右側同時の手関節屈曲運動とした。一過性下肢運動は、左右側同時の底屈運動とした。一過性運動は、警告刺激—反応刺激—反応課題パラダイムによって、反応刺激に反応させて周期運動の特定の時相で強制的に挿入させた。警告刺激と反応刺激には音刺激（2000 Hz）を用い、両刺激間隔を 2 秒に固定した。警告刺激は、周期運動時の足底あるいは手掌の接地開始時点から特定の遅れ時間を設けて提示した。その遅れ時間は、反応刺激の提示が、左右それぞれの足底ないし手掌の接地開始から 0 ms、200 ms、400 ms となるように設定した。これらの警告刺激と反応刺激の設定には、ファンクションジェネレーターを用いた。

実験手順

測定を開始する前に、警告刺激から反応刺激までの 2 秒間を予測する練習を 10 回行い、続いて上肢ないし下肢の周期運動時に他肢の一過性運動を挿入する練習をそれぞれ 5 回行った。その後、上肢ないし下肢の周期運動時に他肢の一過性運動を挿入する測定を開始した。周期運動を行う肢と一過性運動の挿入時点は、被験者毎にランダムに設定した。

1 試行の手順は、まず電子メトロノーム音を数秒間聞かせて周期運動の周期を把握させた。続いて、電子メトロノーム音に合わせて周期運動を 3 秒間行わせた。その後、電子メトロノーム音を消去した条件下で周期運動を 10 秒間継続させた。一過性運動の挿入を行うための警告刺激と反応刺激の提示は、電子メトロノーム音を消去してから 3-7 秒目の任意のタイミングで行った。試行中は、ゴーグル型ディスプレイを装着させ、その中央に提示した円形視標を注視させることで、眼球運動による脳波へのアーチファクトの混入を極力少なくさせた。

CNV (Walter et al., 1964) 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、アース電極は Fpz に取り付けた。CNV の記録では、瞬き運動、眼球運動、その他のアーチファクトの混入を取除く必要がある。そこで、眼球電図法を用いて眼球運動を同時に記録した。眼球電図の電極は、測定電位の変動を防ぐために、測定開始の 20 分以上前に装着した。CNV 波形の記録では、

眼球電図と CNV の振幅が $100\mu\text{V}$ を超える試行を除外した。各挿入時相での測定は、CNV の加算回数が 17 回となるまで反復した。

CNV 波形の基準電位は S1 前 500 ms の平均値とし、S1 の 500 ms 前から S2 後の 2000 ms までの 4500 ms 間の脳波を S1 をトリガーとして加算平均した。S2 前に出現する陰性電位のピーク値を後期 CNV 電位とし、その振幅と出現時点を把握した。

CNV の加算平均を算出する対象となった試行を対象に、周期的上肢運動では左右側の手掌の接地時間間隔を算出し、周期的下肢運動では左右側の足底の接地時間間隔を算出した。周期運動の自動化水準は、一過性運動の挿入によるこれらの接地時間間隔の変化の大きさを評価した。

4. 研究成果

CNV について

図 1 に、後期 CNV のピーク振幅と S2 提示時点を基準としたそのピーク振幅の出現時間（潜時）を示す。

CNV のピーク振幅は、いずれの被験者群においても、周期的上肢運動時に一過性下肢運動を挿入した場合が、周期的下肢運動時に一過性上肢運動を挿入した場合に比べて有意に高い値を示した ($t > 3.720, p < 0.05$)。被験者群の比較では、バスケットボール群 < コントロール群 < サッカー群の順に CNV 振幅が大きくなる傾向があり、周期的上肢運動時の左手掌接地後 0 ms 後と 200 ms 後に一過性下肢運動を挿入した場合には、それぞれバスケットボール群とコントロール群の間、バスケットボール群とサッカー群の間に有意差が認められた ($F_{2,22} > 3.490, p < 0.05$)。一過性運動の挿入時点の有意な影響は認められなかった。

CNV のピーク振幅の出現潜時には、周期運動の差異、被験者群、および一過性運動の挿入時相の違いによる有意な影響は認められなかった。

周期運動に対する一過性運動の干渉

図 2 に、一過性下肢運動を挿入した場合の周期的上肢運動における左右側の手掌の接地時間間隔の変化を示す。横軸の Contact

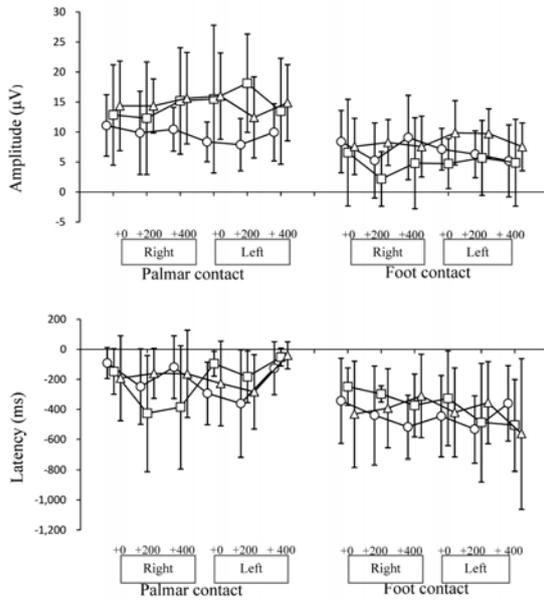


図1 後期 CNV のピーク振幅 (上段) とその出現潜時 (下段)。○: バスケットボール群、□: サッカー群、△: コントロール群

number は、一過性下肢運動が挿入された時点のタッピングを 0 とし、その前後それぞれ 3 回のタッピングを示している。Control は、一過性下肢運動が挿入される 4 タッピング前と 5 タッピング前の手掌の接地時間間隔の平均値である。一過性下肢運動の挿入によって、その挿入されたタッピング (Contact number: 0) の時間が延長し、その 1 つ前のタッピング (Contact number: -1) の時間が短縮する傾向が認められた。この 2 つのタッピングと Control のタッピングの時間を比較した。その結果、これらのタッピング時間は、いずれの一過性下肢運動の挿入時相においても有意に異なり ($F_{2,42} > 22.227, p < 0.001$)、一過性下肢運動が挿入される 1 つ前のタッピング (Contact number: -1) の時間は Control に比べて有意に短かった。さらに、一過性下肢運動が右手と左手の手掌が接地してから 0 ms 後に挿入された場合には、その挿入時 (Contact number: 0) のタッピング時間が有意に長かった。

図3に、一過性上肢運動を行った場合の周期的下肢運動における左右側の足底の接地時間間隔の変化を示す。横軸の Step number は、一過性上肢運動が挿入された時点のステップを 0 とし、その前後それぞれ 3 ステップを示している。Control は、一過性上肢運動が挿入される 4 ステップ前と 5 ステップ前の平均値である。一過性上肢運動の挿入によって、その挿入されたステップ (Step number: 0) の時間が延長し、その 1 つ前のステップ (Step number: -1) が短縮する傾向が認められた。こ

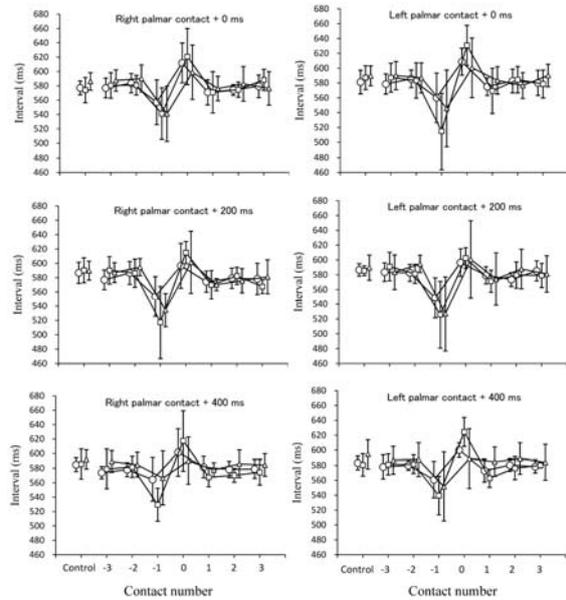


図2 一過性下肢運動を行った場合の周期的上肢運動における左右側の手掌の接地時間間隔の変化。○: バスケットボール群、□: サッカー群、△: コントロール群

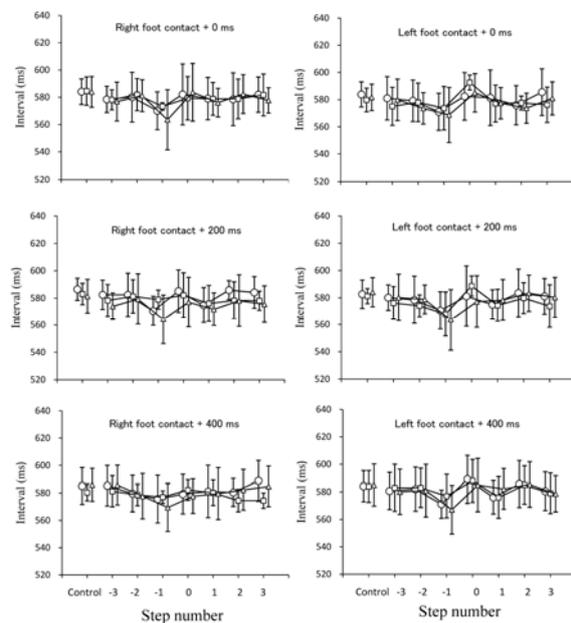


図3 一過性上肢運動を行った場合の周期的下肢運動における左右側の足底の接地時間間隔の変化。○: バスケットボール群、□: サッカー群、△: コントロール群

の2つのステップ時間は、いずれの一過性上肢運動の挿入時相においても、Controlのステップ時間との間に有意差異が認められ ($F_{2,42} > 4.380, p < 0.05$)、一過性上肢運動が挿入される1つ前のステップ (Step number: -1) はControlに比べて有意に短かった。

一過性運動が挿入された周期運動の周期とその1つ前の周期の変化は、3群全てにおいて、いずれの挿入時相においても、周期的上肢運動の方が周期的下肢運動よりも有意に大きかった ($F_{1,21} > 23.248, p < 0.001$)。

考察

一過性運動の挿入による周期運動の周期の変化からは、全ての被験者群において、上肢運動の自動化水準は下肢運動に比べて低いことが推察される。また、上肢の自動化水準は、サッカー群 < 一般学生 (コントロール群) < バスケット群の順であると考えられる。これらは、先行研究 (外山、藤原, 1994; Toyama & Fujiwara, 1997) の知見と一致する。本研究では、自動化水準が低い周期運動時に一過性運動を挿入する場合に、後期 CNV の振幅が大きくなることが新たに示された。即ち、いずれの被験者群においても、周期的上肢運動時に一過性下肢運動を挿入する場合の CNV 振幅は、周期的下肢運動時に一過性上肢運動を挿入する場合の CNV 振幅に比べて有意に大きかった。さらに、周期的上肢運動時に一過性下肢運動を挿入する場合の CNV 振幅は、サッカー群で大きく、バスケットボール群で小さかった。

これらの結果は、上・下肢の運動を並行する場合の運動実施に向けた脳の準備状況が、学習による運動の自動化水準によって異なることを示唆するものと考えられる。

本研究では、周期運動の相依存性の CNV と一過性運動の挿入による周期の変化が認められなかった。これは、警告刺激から反応刺激が提示されるまでの2秒間に、周期運動の周期に変化が生じ、足底あるいは手掌が接地してからの反応刺激の提示タイミングを正確に設定できなかったことが影響していると思われる。脳の準備状況に対する周期運動の相依存性の変化については、更なる検討が必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

外山 寛 (TOYAMA HIROSHI)
金沢大学・医学系・准教授
研究者番号：10172206

(2) 研究分担者

藤原 勝夫 (FUJIWARA KATSUO)
金沢大学・医学系・教授
研究者番号：60190089