

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 16 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350626

研究課題名(和文) 手運動命令プロセスによる眼球運動のfeedforward制御に関する研究

研究課題名(英文) Feedforward control of eye movement induced by motor command of arm movement

研究代表者

平岡 浩一 (Hiraoka, Koichi)

大阪府立大学・総合リハビリテーション学研究科・教授

研究者番号：10321209

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では腕運動命令が眼球運動命令を随伴生起するという仮説を検証した。頭部固定しない場合、腕運動は高頻度で眼球運動を生起したが、頭部固定するとその頻度は腕安静時と差のないものとなった。腕主動作筋活動潜時と頭部加速度潜時はほぼ同時であったが、眼球運動潜時はそれらより遅延した。腕運動潜時と眼球運動潜時に有意差は観察されなかった。腕運動イメージおよび腕運動主動作筋への振動刺激では眼球運動は発生しなかった。これらより、腕運動に伴う眼球運動は、腕運動に先立って生じる腕筋群の収縮とほぼ同時に生じる予測的姿勢制御を機序とした頭部運動に伴う視機動眼反射に由来する現象であると結論された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to test a hypothesis that motor command of the arm movement concomitantly produces motor command to the eye movement. Arm movement frequently induced eye motor response when the head was not fixed, but that did not induce eye motor response when the head was fixed. The latency of the eye movement was longer than the latency of EMG response in the arm and that of the head movement. There was no significant difference between the latency of the arm and eye movements. Motor imagery of arm movement and vibratory stimulation over the arm muscle did not induce eye movement. Those findings indicate that eye motor response is originated from optokinetic response caused by head motion artifact due to anticipatory postural adjustment associated with arm movement.

研究分野：理学療法 運動制御 運動学習

キーワード：腕運動 眼球運動 目と手の協応 efferent copy

1. 研究開始当初の背景

目と手の協調は仮説モデルが提示されているが、いまだにそれらを裏付ける明白な証拠はない^{1,2,3}。目と手の協応に関しては眼球運動が手運動プロセスに及ぼす影響に着目した知見がある。たとえば、眼球運動は上肢運動時の皮質脊髄下降路興奮性には影響しないが、その運動の時系列制御には影響を与える⁴。また、衝動性眼球運動の運動前位相において、同時に小指外転運動実施時に小指外転筋から記録される運動誘発電位の抑制が生じることより、眼球運動前実行プロセスが上肢運動前実行プロセスと同時に実施される場合には上肢皮質脊髄下降路は一部眼球運動からの抑制入力を受けることが示唆された⁵。また、円滑追従運動時に前腕回内位における安静手指筋の手指支配皮質脊髄下降路興奮性が低下する⁶。この皮質脊髄路興奮性低下が手指筋の機能に依存して異なることから、眼球運動が手指運動命令を随伴して生じているとこの研究の著者らは予想した。さらに、円滑追従運動時に運動野に後方から前方へ脳内電流が生起されるように上肢支配一次運動野に磁気刺激すると上肢筋への I₃ 由来 descending volley により生起される運動誘発電位に対する促通効果が円滑追従眼球運動により生起される⁷。また、Maioli らにより観察された手指支配皮質脊髄下降路興奮性の低下は視覚遮断下において追従ターゲットのない状態での眼球運動も生じる⁸。

これら知見は眼球運動命令が上肢運動命令プロセスへ及ぼす影響を示唆したものであるが、逆に上肢運動が眼球運動をガイドする機構も知られている^{2,9}。Snyder らは、サルにおいて対象物へ目だけ動かす条件と手と目の両方を動かす条件を比較した¹⁰。その結果、目だけで動かす条件と比較して手と目を同時に動かす条件において最大眼球運動速度が増加した。Steinback は、外部ターゲットを眼球追従するよりも自分の上肢で動かしたターゲットを追従する方がスムーズに実施できることを示し、上肢が眼球運動を誘導していることを示した¹⁰。Gauthier らは、眼球運動単独でのターゲット追従時のターゲットに対する眼球運動の遅れが、手と同時にターゲットを追従することによって消失することを示した²。随意運動時には運動命令と同時に efferent copy を小脳などへ情報伝達する機序が存在する¹¹。この機序を介してヒトは運動を feedforward 制御していると考えられている。眼球運動に上肢運動が伴うと眼球運動の遅延が減少するという Gauthier らの報告は、この efferent copy による眼球運動の feedforward 制御によるものではないかという仮説を支持する。

2. 研究の目的

本研究では眼球を正中方向を凝視させた状態で腕運動命令が生起される課題を付加

し、それによって正中視した眼球に生じる運動を観察した。腕運動実験では腕運動により眼球運動が生じるか観察した。筋への振動刺激により group Ia 求心性線維が活動して筋伸張錯覚が生じ、結果として運動錯覚が生じる^{12,13,14}。腕運動実験の結果観察された眼球運動に筋感覚入力に関与しないならば、筋感覚を生起する振動刺激を与えても眼球運動は生じないと予想した。そこで振動刺激実験では、眼球を正中位凝視させた状態で上腕二頭筋に振動刺激し、それによって生起される筋感覚によって眼球運動が生じるか観察した。他方、運動イメージをすると運動実行と同様の中枢神経活動を得られる^{15,16,17,18,19}。したがってこの手法を用いれば、フィードバックなしに上肢の運動命令を出力することが可能となるため、腕運動イメージ中に眼球運動が生起されるか観察することにより、腕運動命令が同時に眼球運動を生じるといふ仮説を検証できる。そこで腕運動イメージ実験においては正中位にある標的を凝視させた状態で腕運動を一人称イメージさせ、それによって眼球運動が生じるか観察した。

3. 研究の方法

実験 1 では、右腕および左腕で急速運動を実行させ、その時に眼球運動が生じるかについて検討した。実験 2 および 3 では頭部の運動アーチファクトの影響を検証するため、腕運動時に頭部の加速度を検証(実験 2)、あるいは頭部を固定して腕運動を実行して眼球運動が生じるのかを観察した(実験 3)。さらには上肢運動命令による眼球運動発生を検証するため、運動イメージにより眼球運動が生じるか観察した(実験 1, 2)。加えて、筋感覚の影響を検証するため、振動刺激を筋に導入して眼球運動を観察した(実験 2)。

対象

実験 1 は年齢 30.0 ± 6.0 歳の健常男性 9 名を対象とした。実験 2 は年齢 28.6 ± 6.1 歳の健常男性 7 名を対象とした。実験 3 は年齢 29 歳の健常成人男性 1 名を対象とした。

設定

被験者の姿勢は椅子座位とした。実験 1 では頭部に装着した視覚遮断装置を固定した。実験 2 では頭部は固定しなかった。実験 3 においては、顎台に頭部を固定した。無理のない姿勢を設定するため、腕回旋装置の位置は肩関節軽度屈曲・軽度外転、肘関節軽度屈曲位となるようにし、腕回旋装置上に前腕を置いた。このとき腕回旋装置の長軸と前腕中央線が平行となるようにした。次に腕回旋運動のゼロポイントを設定するため、腕回旋装置が体幹の前額面に対して垂直になるように位置させた。

視覚提示

実験 1 においては LED ライトを視野の中心

に設置した視覚刺激遮断装置を装着した。視覚刺激遮断装置は机からのバーの上に設置して固定した。実験 2 および 3 においては視覚提示装置を用いて正中線上に円形のシグナルを提示した。

眼球運動および腕運動

眼球運動は、角膜反射センサが附置されたゴーグルを装着して計測した。腕回旋装置には歪みゲージを取り付け、腕回旋角度を測定した。

頭部運動

実験 2 および 3 では額部に 3 軸加速度計を設置して頭部の加速度を計測した。x 軸は側方, y 軸は上下方向, z 軸は前後方向とした。

腕運動課題 (実験 1)

課題中、瞬目禁止を指示した。まず被験者は点灯した LED ライトを凝視、ついで点灯した LED ライトが 2 秒後に消灯し、同時に課題音を提示した。500Hz の課題音に対して被験者は腕を外側方向に、50Hz の課題音に対しては腕を内側方向に腕を回旋させた。100Hz の課題音に対しては腕を静止した。腕運動は、課題音に反応して素早く開始した。腕運動はできるだけ速く動かすように指示し、回旋範囲は左右 45° 程度とした。この課題を右腕と左腕それぞれで行った。

腕運動課題 (実験 2, 3)

課題中、瞬目の禁止を指示した。まず視覚提示装置に 1 s 間赤色の点を提示した。次にその点が緑色に変化した瞬間に前腕を外側方向に、白色に変化した場合は内側方向に回旋させた。点の色が変化しなければ、腕の安静を維持するよう指示した。前腕はできるだけ速く動かすように指示した。回旋範囲は左右とも 45° とした。課題は右上肢のみについて実施した。

腕運動イメージ課題

実験 1 では閉眼にて、500Hz の開始音では腕を外側に動かすイメージ、50Hz の開始音では腕を内側に動かすイメージ、100Hz の開始音では腕を静止するイメージを行うように指示した。このときのイメージは三人称視覚イメージではなく、一人称運動感覚イメージをさせた。実験 2 においては瞬目禁止を指示した。視覚提示装置に 1 s 間赤色の点を提示した。次に点が緑色に変化すれば腕を外側方向に、白色に変化すれば内側方向に回旋するイメージをさせた。点の色が変化しなければ、イメージをさせなかった。

筋感覚課題

課題中、瞬目禁止を指示した。まず被験者には視覚提示装置に映された赤色の点を凝視させた。その後、点の消灯と同時に上腕二頭筋に 100Hz の振動刺激を 600 ms の時間加

えた。

解析

腕運動潜時・振幅を算出した。眼球運動の出現頻度、振幅と潜時および潜時から 50 ms における眼球運動方向を眼球運動軌跡座標の回帰直線の傾きを用いて算出した。眼球運動出現の試行回数を全試行で除算して眼球運動出現確率を算出した。頭部加速度は潜時を算出した。

4. 研究成果

結果

実験 1 における腕運動振幅は左上肢の左方向は 40.6 ± 2.7 度、右方向は 42.8 ± 2.3 度、右上肢の左方向は 35.2 ± 3.6 度、右方向は 44.6 ± 2.7 度であった。繰り返しのある二元配置分散分析の結果、腕間 $[F(1, 32) = 0.40, p = 0.53]$ および腕運動方向間 $[F(1, 32) = 4.12, p = 0.05]$ で有意差はなかった。主効果の相互作用も有意ではなかった $[F(1, 32) = 1.53, p = 0.22]$ 。実験 2 の腕運動の腕運動振幅は左方向で 43.4 ± 2.5 度、右方向で 55.4 ± 6.5 度であった。振幅に腕方向間の有意差はなかった ($p = 0.51$)。

実験 1 および 2 において、腕運動時に眼球運動が出現した。それに対し、腕安静時にはほとんどの試行で眼球運動は生じなかった。繰り返しのある二元配分散分析の結果、眼球運動出現確率は腕運動条件間で有意差があった。実験 1 では腕間での出現確率の有意差はなく $[F(1, 48) = 1.20, p = 0.28]$ 、腕運動条件間で有意差があった $[F(2, 48) = 18.55, p < 0.01]$ 。主効果の有意な相互作用は確認されなかった $[F(2, 48) = 1.30, p = 0.28]$ 。実験 2 では腕運動条件間で有意差が確認された $[F(2, 12) = 521.06, p < 0.01]$ 。多重比較検定の結果、実験 1 および実験 2 とも、腕安静条件と比較して腕運動条件で眼球運動出現確率が有意に高かった ($p < 0.05$)。実験 3 においてはほとんど眼球運動は生じなかった。右方向のみ眼球運動出現確率は 0.3 であったが、他の条件のそれはすべて 0.0 であった。

実験 1 の水平方向眼球運動振幅は右上肢の右方向で 5.0 ± 1.6 度、左方向で 4.6 ± 1.6 度、左上肢の右方向で 5.8 ± 2.1 度、左方向で 4.2 ± 1.4 度であった。水平方向の眼球運動振幅に左右間 $[F(1, 30) = 0.01, p = 0.91]$ および腕方向間 $[F(1, 30) = 0.35, p = 0.56]$ で有意差は観察されなかった。有意な交互作用もなかった $[F(1, 30) = 0.12, p = 0.73]$ 。垂直方向の眼球運動振幅は右上肢の右方向で 5.0 ± 1.6 度、左方向で 4.6 ± 1.6 度、左上肢の右方向で 4.8 ± 1.1 度、左方向で 4.1 ± 1.8 度であった。垂直方向の眼球運動振幅に左右間 $[F(1, 30) = 1.61, p = 0.21]$ および腕方向間 $[F(1, 30) = 0.04, p = 0.84]$ で有意差はなかった。有意な交互作用もなかった $[F(1, 30) = 0.14, p = 0.72]$ 。

実験2の水平方向の眼球運動振幅は右方向で 2.0 ± 0.7 度、左方向で 2.5 ± 0.9 度であった。左右方向間で有意差はなかった($p = 0.30$)。垂直方向の眼球運動振幅は腕右方向で 1.0 ± 0.2 度、腕左方向で 1.1 ± 0.2 度であった。左右方向間で有意差はなかった($p = 0.71$)。

実験1における腕運動潜時は左腕の左方向で 545 ± 19 ms、右方向で 566 ± 32 msであった。眼球運動開始潜時は左腕の左方向で 572 ± 38 ms、右方向で 580 ± 30 msであった。潜時に腕・眼球運動間 [$F(1, 31)=0.43, p = 0.52$] および腕方向間 [$F(1, 31)=0.24, p = 0.63$] で有意差はなかった。有意な主効果の交互作用もなかった [$F(1, 31)=0.05, p = 0.83$]。腕運動潜時は右腕の左方向で 557 ± 26 ms、右方向で 493 ± 25 msであった。眼球運動開始潜時は右腕の左方向で 585 ± 61 ms、右方向で 548 ± 39 msであった。潜時に腕・眼球運動間 [$F(1, 31)=1.05, p = 0.31$] および腕方向間 [$F(1, 31)=1.57, p = 0.22$] で有意差はなかった。有意な主効果の交互作用もなかった [$F(1, 31)=0.11, p = 0.74$]。

実験2における腕運動潜時は左方向で 496 ± 15 ms、右方向で 498 ± 16 msであった。眼球運動開始潜時は左方向で 486 ± 19 ms、右方向で 485 ± 27 msであった。頭部運動開始潜時は左方向で 426 ± 16 ms、右方向で 419 ± 16 msであった。主動作筋活動潜時は左方向で 396 ± 14 ms、右方向で 365 ± 18 msであった。腕運動・頭部運動・筋活動・眼球運動間 [$F(3, 48)=17.96, p < 0.01$] で潜時に有意差があった。腕方向間では有意差はなかった [$F(1, 48)=0.49, p = 0.49$]。有意な交互作用もなかった [$F(3, 48)=0.33, p = 0.80$]。多重比較検定の結果、頭部加速度は腕運動および眼球運動潜時より有意に短かった($p < 0.05$)。また、筋活動潜時も腕運動および眼球運動潜時と比較して有意に短かった($p < 0.05$)。頭部運動開始潜時と眼球運動開始潜時の差は右方向腕運動時で 66 ± 20 ms、左方向腕運動時で 60 ± 10 msであった。

実験1における眼球運動方向は左腕の左方向で $-113 \pm 47^\circ$ 、右方向で $-132 \pm 38^\circ$ 、右腕左方向で $-130 \pm 28^\circ$ 、右方向で $-117 \pm 32^\circ$ であった。繰り返しのある二元配分散分析の結果、眼球運動方向に腕運動方向間 [$F(1, 30)=0.01, p = 0.94$] および腕間 [$F(1, 30)=0.00, p = 0.99$] で有意差は観察されなかった。主効果の有意な交互作用もなかった [$F(1, 30)=0.18, p = 0.67$]。

実験1および2において運動イメージ課題時の有意な眼球運動出現確率の増加はなかった。実験1において繰り返しのある二元配分散分析の結果、出現確率に腕運動方向間 [$F(2, 30)=0.86, p = 0.43$] および腕間 [$F(1, 30)=0.49, p = 0.49$] で有意差はなかった。主効果の有意な交互作用もなかった [$F(2, 30)=0.86, p = 0.43$]。実験2では繰り返しのある二元配分散分析の結果、出現確率に腕

運動方向間で有意差はなかった [$F(2, 15)=0.50, p = 0.62$]。振動刺激・非振動刺激条件とも、眼球運動出現確率は低く、両条件間で有意差はなかった($p = 1.00$)。

考察

実験1および実験2において、腕運動により眼球運動が高頻度で生じた。その振幅は水平方向および垂直方向とも1から8度程度であった。これは腕運動により何らかの原因で眼球運動が生じたことを示唆する。加えて実験1における眼球運動方向解析の結果、どちらの腕運動においても方向性にかかわらず、眼球は左上方に運動する傾向があった。この傾向を説明する仮説としては、1) 腕運動命令に伴って眼球運動が生じている、2) 腕運動に伴う運動アーチファクト由来の感覚フィードバックが代償的な眼球運動を生じていることが考えられる。後者の場合、腕運動に伴う運動アーチファクトが外側方向への腕運動で特に大きかったことによって生じたと解釈することが可能である。

本研究では腕運動命令に伴って眼球運動命令が生じることを仮説とした。しかし腕運動に眼球運動が伴うという事実だけでは腕運動に伴うフィードバックや運動アーチファクトの影響が生じたという反証を否定できない。運動イメージではその運動を実際に実施した時と近似した脳活動を引き起こせるため、実際の運動な意思に運動実行時の脳活動を引き出すことが可能である^{15,16,17,18,19}。そこで実験1と2では腕運動イメージに伴って眼球運動が生じるか検証したが、その結果腕運動イメージでは眼球運動は生じなかった。これより、腕運動命令が眼球運動を生じたという仮説は支持されなかった。

頭部運動潜時は腕運動潜時よりも有意に短縮したことから、頭部運動は腕運動のアーチファクトには由来しないと考えられる。腕主動作筋活動と頭部加速度潜時はほぼ同時であった。筋活動は運動命令が運動野に生じた結果生じる骨格筋の収縮を反映している。運動誘発電位の潜時より、一次運動野の活動に始まり皮質脊髄路から運動ニューロンを経由して運動指令が骨格筋に伝達される時間は手指筋で約20 ms程度と推測できる²⁰。したがって、今回の頭部加速度と腕運動命令は相当近いタイミングで生じていたと解釈できる。これは頭部運動命令と腕運動命令は同時に同じトリガで指令を受けていたことを示唆する。腕運動の感覚フィードバックを受けて頭部運動が生じた場合には腕運動潜時に対して頭部運動が遅延するはずであるが、今回は腕運動潜時より早い潜時で筋活動潜時と同程度のタイミングで開始したことから、頭部運動は運動アーチファクトの感覚フィードバックではなくて何らかのフィードフォワード制御により生じたものと考えられた。

ヒトにおいては予測的姿勢制御が随意運

動に先立ってあるいは随意運動と同時に生起する²¹。つまり同時並行に随意運動命令と姿勢制御命令が生じうる。今回の実験では座位で腕運動したため、予測的姿勢制御が関与する余地は十分ある。したがってこの頭部運動は腕運動命令と同時に生じた予測的姿勢制御を反映するものと推測される。

実験3において顎台により頭部固定すると眼球運動出現確率は大幅に減少し、安静時の出現率とほとんど差がなくなった。これは、頭部が自由に動くことが腕運動に伴う眼球運動の出現の前提条件であることを示唆する。眼球運動は頭部加速度潜時より大きく遅延した。その遅延は約60msと感覚フィードバックによる眼球の反射を十分許容する時間であった。これより、眼球運動は予測的姿勢制御として腕運動命令に伴って生じた頭部運動をもたらす感覚フィードバックに対する反射活動として生じた可能性が高い。頭部運動に伴って生じる眼球運動反射をvestibulo ocular reflexと呼ぶ²²。しかしこの反射はおよそ10ms以内の潜時で生じるので今回の結果はそれには該当しない²³。これに対し、頭部運動の代償として生じる視機性動眼反射は頭部運動に対する潜時が約70msである²⁴。したがって、今回の実験で生じた眼球運動はこの視機性動眼反射であった可能性が十分考えられる。

腕運動の潜時は眼球運動潜時と有意差はなかった。腕運動アーチファクトが眼球運動をもたらしたと解釈するならば一定の潜時が必要であるので、腕運動による感覚入力が眼球運動をもたらしたとする仮説は否定される。また振動刺激は筋刺激となるので筋感覚を誘発する^{13,14}。しかしそれに伴った眼球運動も生じなかったので、筋感覚フィードバックの効果も今回の実験で否定された。先行研究においても振動刺激では眼球運動が生じないことが報告されており、今回の結果はそれを支持するものであった。これより、反証仮説である、筋感覚による眼球運動の誘発は支持されなかった。

本研究の成果をまとめると、腕運動と頭部運動は同一のトリガで開始されるが、腕運動は随意制御、頭部運動は腕運動を予測したことによる予測的姿勢制御である可能性が高い。これに対して眼球運動は頭部運動の感覚入力に反応して生じていた視機性動眼反射と推測する。腕運動による感覚フィードバックは眼球運動には関与しないものと考えられる。

[引用文献]

1. Bock, O. (1987). Coordination of arm and eye movements in tracking of sinusoidally moving targets. *Behavioural Brain Research*, 24(2):93-100.
2. Gauthier GM, Vercher JL, Ivaldi FM et al. (1988) Oculo-manual tracking of visual target: control learning, coordination control and

- coordination model. *Experimental Brain Research*, 73:127-37.
3. Lazzari S, Vercher JL, Buizza A (1997) Manuo-ocular coordination in target tracking:I. A model simulating human performance. *Biological Cybernetics*, 77:257-266.
4. Horino H, Mori N, Matsugi A, Kamata N, Hiraoka K (2013) The effect of eye movement on the control of arm movement to a target. *Somatosensory and Motor Research*, 30(3):153-159.
5. Hiraoka, K., Kurata, N., Sakaguchi, M., Nonaka, K., & Matsumoto, N. (2014). Interaction between the premotor processes of eye and hand movements: Possible mechanism underlying eye-hand coordination. *Somatosensory & Motor Research*, 31(1):49-55.
6. Maioli C, Falciati L, Gianesini T (2007) Pursuit eye movements involve a covert motor plan for manual tracking. *The Journal of Neuroscience*, 27(27):7168-7173.
7. Hiraoka, K., Ae, M., Ogura, N., Komuratani, S., Sano, C., Shiomi, K., ... & Yokoyama, H. (2014). Smooth pursuit eye movement preferentially facilitates motor-evoked potential elicited by anterior-posterior current in the brain. *NeuroReport*, 25(5):279-283.
8. Chujo Y, Jono Y, Tani K, Nomura Y. (2016) Corticospinal excitability in the hand muscles is decreased during eye movement with visual occlusion. *Perceptual & Motor Skills* 122(1):238-55.
9. Steinbach MJ, Held R (1968) Eye Tracking of Observer-Generated Target Movements, *Science*, 161:187-188.
10. Snyder LH, Calton JL, Dickinson AR, Lawrence BM (2002) Eye-Hand Coordination: Saccades Are Faster When Accompanied by a Coordinated Arm Movement, *Journal of Neurophysiology*, 87:2279-2286.
11. Wolpert DM, Miall RC. (1996) Forward Models for Physiological Motor Control. *Neural Network*. 9:1265-1279
12. Kito T, Hashimoto T, Yoneda T, Katamoto S, Naito E. (2006) Sensory processing during kinesthetic aftereffect following illusory hand movement elicited by tendon vibration. *Brain Research*. 1114(1):75-84.
13. Goodwin GM, McCloskey DI, Matthews PB. (1972) The contribution of muscle afferents to kinaesthesia shown by vibration induced illusions of movement and by the effects of paralyzing joint afferents. *Brain*. 95:705-748.
14. Yoshimura, A., Matsugi, A., Esaki, Y., Nakagaki, K., & Hiraoka, K. (2010). Blind humans rely on muscle sense more than normally sighted humans for guiding goal-directed movement. *Neuroscience Letters*, 471(3):171-174.

- 15 . Decety J, Sjöholm H, Ryding E, Stenberg G, Ingvar DH (1990) The cerebellum participates in mental activity: tomographic measurements of regional cerebral blood flow. *Brain Research* 535:313–317.
- 16 . Stephan KM, Fink GR, Passingham RE, Silbersweig D, Ceballos-Baum, Frith CD, Frackowiak RS (1995) Functional anatomy of the mental representation of upper extremity movements in healthy subjects. *Journal of Neurophysiology* 73:373–386.
- 17 . Porro CA, Francescato MP, Cettolo V, Diamond ME, Baraldi P, Zuian C, Bazzocchi M, di Prampero PE (1996) Primary motor and sensory cortex activation during motor performance and motor imagery: a functional magnetic resonance imaging study. *The Journal of Neuroscience* 16:7688–7698.
- 18 . Lotze M, Montoya P, Erb M, Hulsmann E, Flor H, Klose U, Birbaumer N, Grodd W (1999) Activation of cortical and cerebellar motor areas during executed and imagined hand movements: an fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience* 11:491–501.
- 19 . Jeannerod, M., (2001) Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *NeuroImage* 14:103–109.
- 20 . Lim, C. L., & Yiannikas, C. (1992). Motor evoked potentials: a new method of controlled facilitation using quantitative surface EMG. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Evoked Potentials Section*, 85(1), 38-41.
- 21 . Massion, J. (1992). Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination. *Progress in Neurobiology*, 38(1), 35-56.
- 22 . Dieterich, M., & Brandt, T. (1995). Vestibulo-ocular reflex. *Current opinion in Neurology*, 8(1), 83-88.
- 23 . Crane, B. T., & Demer, J. L. (1998). Human horizontal vestibulo-ocular reflex initiation: effects of acceleration, target distance, and unilateral deafferentation. *Journal of Neurophysiology*, 80(3), 1151-1166.
- 24 . Gellman, R. S., Carl, J. R., & Miles, F. A. (1990). Short latency ocular-following responses in man. *Visual Neuroscience*, 5(02), 107-122.

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)

[雑誌論文](計1件)

Chujo Y, Jono Y, Tani K, Nomura Y, Hiraoka K. Corticospinal Excitability in the Hand Muscles is Decreased During Eye Movement with Visual Occlusion.

Percept Mot Skills. 2016;122(1):238-255.
doi: 10.1177/0031512515625331, 査読有

[学会発表](計3件)

畑中良太、岩田恭幸、平岡浩一 腕運動に伴う眼球運動の発生源に関する研究. 日本臨床神経生理学会. 2016年10月29日 福島

中條雄太、城野靖朋、谷恵介、野村佳史、平岡浩二 視覚入力を伴わない衝動性眼球運動が手指筋皮質脊髄路興奮性に及ぼす影響. 日本臨床神経生理学会 2014年11月21日、福岡

塩見啓悟、阿江実乃里、小倉奈菜、佐野千紗、森田祐司、横山遥香、平岡浩二 円滑追従眼球運動による前後方向脳内電流由来の手指運動誘発電位の促進. 日本臨床神経生理学会 2014年11月21日、福岡

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

平岡 浩一 (HIRAOKA Koichi)

大阪府立大学・総合リハビリテーション学
研究科・教授

研究者番号：10321209