

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 14 日現在

機関番号：30116

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22570227

研究課題名（和文）眼球運動反応時間および視標追従能の頸部前屈保持に伴う変化の発達様相

研究課題名（英文）Developmental change in saccadic reaction time and smooth pursuit eye movement while maintaining neck flexion

研究代表者

国田 賢治（KUNITA KENJI）

札幌国際大学・スポーツ人間学部・教授

研究者番号：20316003

研究成果の概要（和文）：本研究では、(1)頸部前屈保持による眼球運動反応時間の変化の発達様相および、(2)若年成人および児童を対象とした、正弦波状に移動する視標への追従能の頸部前屈保持に伴う変化について検討した。検討の結果、以下のような知見を得た。(1) 頸部前屈保持に伴う眼球運動反応時間短縮機構は、12 歳ころまでに形成されることが明らかとなった。(2) 正弦波状に移動する視標の追従能力は、若年成人では、頸部前屈保持に伴い向上することが明らかとなったが、児童ではその向上は認められなかった。

研究成果の概要（英文）：The present study investigated (1) developmental change in saccadic reaction time while maintaining neck flexion, and (2) change in the ability of pursuit to sinusoidally moving visual target during maintenance neck flexion for young adult and child. The results were as follows: (1) It was clear that the shortening function of saccadic reaction time while maintaining the neck flexion was formed at approximately 12 years. (2) The ability of pursuit to sinusoidally moving visual target improved during maintenance of neck flexion for young adult, however, the ability did not improved for child.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011 年度	700,000	210,000	910,000
2012 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：人類学・応用人類学

キーワード：反応時間・姿勢・頸部・滑動性眼球運動・発達・衝動性眼球運動・覚醒・追従能

1. 研究開始当初の背景

高い水準の運動機能や認知機能を発揮するには、それら機能の基盤となる中枢神経系の活性化の状態を必要に応じて調節することが重要となる。これまで我々は、中枢神経系の活性化の状態が運動の開始に先立って保持する身構え姿勢によって高まることに着目して検討を行ってきた。検討の結果、

身構え姿勢を保持すると、衝動性眼球運動の反応開始の遅延時間(眼球運動反応時間)が短縮するとの知見を得た(藤原 1994)。さらに、この身構え姿勢の一部である頸部前屈姿勢を保持すると、同程度の反応時間短縮がみられるとの知見を得た(Fujiwara et al. 2000)。その他の我々の一連の検討から、頸背部筋活動に伴う脳賦活作用が眼球運動反応時間短

縮機構の一つであることが示唆された (Fujiwara et al. 2001; 国田と藤原 2008)。我々は、野球、卓球及びテニスなどの高速ボールを追従するスポーツクラブに在籍していた被験者では、頸部前屈保持に伴い眼球運動反応時間の顕著な短縮がみられたが、スポーツクラブに所属したことのない被験者では反応時間に変化がみられないとの知見を得た (Fujiwara et al. 2006)。このことは、頸背部筋の活動に伴う眼球運動反応時間短縮には、運動学習による形成が重要であることを示唆しているものと考えられた。我々は、このことを確認する知見を得た。それは、頸部前屈を保持した姿勢で眼球運動反応トレーニングを行うと、先行研究で報告されてきている眼球運動反応トレーニング効果に加えて、頸部前屈反応時間短縮効果がみられるようになったことである (Kunita and Fujiwara 2009)。ただし、これらのいずれも若年成人を対象に検討を行ってきている。

中枢神経系の発達様相については数多くの検討がなされてきており、反応時間、大脳誘発電位や事象関連電位などの情報処理様相から、またさらに脳波の周波数や振幅を指標とした報告がなされている。ただし、上述したような頸部前屈保持時の眼球運動反応時間短縮の発達様相、さらにその背景となる頸部前屈保持時の脳賦活作用の運動学習形成が可能となる時期については、これまで検討がなされていない。

刻々と変化する外界の状況下で視覚情報を迅速に獲得し、その後継続して注視する場合に、視標への衝動性眼球運動がはじめに行われ、その後、その視対象を正確に追従することがなされる。眼球運動による正確な追従には滑動性眼球運動が用いられる。この眼球運動の神経経路は、これまで詳細に同定されてきており、衝動性眼球運動と共通した神経経路に加えて、大脳皮質のより高次部位や小脳が強く関与することが報告されている (Leigh and Zee 1991, Pierrot-Deseilligny 1994)。これら神経経路の違いを考慮すると、頸部前屈保持に伴い視標追従能が向上すること、およびその向上の発達の様相は、衝動性眼球運動のそれとは違いがみられることが予想される。

2. 研究の目的

平成 22 年度では、頸部前屈保持による眼球運動反応時間の変化の発達様相について検討する。平成 23 年度および平成 24 年度では、若年成人および児童を対象として、正弦波状に移動する視標への追従能の頸部前屈保持に伴う変化について検討する。

3. 研究の方法

平成 22 年度

(1) 被験者

被験者は、幼児および児童 136 名と若年成人 32 名 (18~22 歳) から成る。幼児および児童を 5 つのグループ (3-4 歳群: 12 名, 5-6 歳群: 49 名, 7-8 歳群: 21 名, 9-10 歳群: 24 名, 11-12 歳群: 30 名) に分けた。

(2) 装置およびデータ記録

実験セットアップを図 1 に示す。フレーム付きの椅子に被験者を座らせ、体幹の背面を垂直な背もたれにつけた。体幹が前後へ移動しないように胸部及び腰部をバンドで固定した。頸部前屈角は、矢状面における肩峰点に対する耳珠の回転角とし、安静時を 0 度とした。この前屈角は、肩峰点を中心点とし耳珠までの距離を調節することができる角度検出器を用いた。また、前庭器官からの感覚刺激が一定となるように、頭部の回旋角度を安静座位時と同じ角度に保った。この角度は、振り子を用いた角度検出器を側頭部に取り付けて検出し確認した。頸背部の伸筋を可能な限り弛緩させる目的で、支持台の上に頭部を置いた。

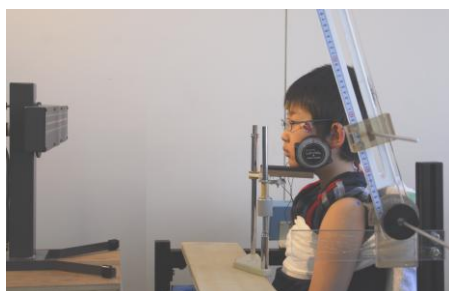
眼球運動を導出するために、視覚刺激装置 (SLE-5100, Nihon Kohden) を用いた。ファンクションジェネレーター (WF1966, NF) によって、眼前の中心点および視標点の位置にある赤色発光ダイオード (LED) を設定した時間だけ点灯した。中心点は 1~3 秒点灯し、その後 1 秒間側方にある視標が点灯する。これらサケード課題における視標の位置は、右視角 10°、右視角 5°、左視角 5° および左視角 10° とし、ランダムに提示した。各位置の出現率は 25% とした。LED の高さは、鼻根の高さと同じにし、中心点の LED と鼻根との距離を 50 cm とした。

水平眼球運動は、左右の外眼角部の表面電極から、垂直眼球運動は右眼の上下の表面電極から記録した。前頭部中央にアース電極を置いた。電極からの信号は、直流アンプ (AN-601G, Nihon Kohden) で 2,000 倍に増幅した。頸背部筋の活動をモニターするために、左右の僧帽筋の表面筋電図は、双極導出を行った。電極からの信号は、生体アンプ (MA1000, DIGITEX) で、5-500Hz のバンドパスフィルターをかけ、2,000 倍に増幅した。すべての電気信号は、サンプリング周波数 1,000Hz、16 ビットの分解能で A/D 変換器を介してコンピューターに取り込んだ。

(3) 手順

下顎部を支持台に置いた安静頸部姿勢および、下顎部を支持台に置かないで最大頸部前屈角度の 80% を保持した姿勢 (頸部前屈姿勢) にて眼球運動反応時間を測定した。1 回の測定時間は 30 秒間とし、測定回数は各姿

勢条件 3 回とした。測定順序は、姿勢条件間でランダムとした。



安静頸部姿勢



頸部前屈姿勢
図 1

(4) データ分析

眼球運動反応時間は、視標の点灯に対する眼球運動の開始潜時とした。視覚刺激信号および眼球運動のデータの解析には BIMUTAS-II (Kissei Comtec) を用いた。

平成 23 年度

(1) 被験者

被験者は、若年成人 14 名 (20~22 歳) からなる。

(2) 装置およびデータ記録

体幹の固定、頸部角度および頭部の回旋角度の検出および、支持台の設定は、平成 22 年度と同様である。視覚刺激装置を用いて、視標は、水平方向に正弦波状に移動した。移動の振幅は左右 10 度ずつとした。水平眼球運動は、左右の外眼角部の表面電極から、垂直眼球運動は右眼の上下の表面電極から記録した。前頭部中央にアース電極を置いた。電極からの信号は、直流アンプ (AN-601G, Nihon Kohden) で 2,000 倍に増幅した。頸背部筋の活動をモニターするために、左右の僧帽筋の表面筋電図は、双極導出を行った。電極からの信号は、生体アンプ (MA1000, DIGITEX) で、5-500Hz のバンドパスフィルターをかけ、2,000 倍に増幅した。

すべての電気信号は、サンプリング周波数 1,000Hz、16 ビットの分解能で A/D 変換機を介してコンピューターに取り込んだ。

(3) 手順

下顎部を支持台に置いた安静頸部姿勢および、下顎部を支持台に置かないで最大頸部前屈角度の 80% を保持した姿勢 (頸部前屈姿勢) にて、0.1Hz 刻みで、0.1Hz から 1.5Hz まで移動する視標の追従眼球運動を測定した。1 回の測定時間は 30 秒間とし、測定回数は各姿勢条件で 2 回ずつとした。各周波数の測定順序は、姿勢条件間でランダムとした。

(4) データ分析

30 秒間のデータを対象に解析ソフト BIMUTAS-II (Kissei Comtec) を用いて分析を行った。相互相関分析から得られる相関係数の最大値を相関度とし、その時の視標の動きのデータに対する眼球運動のデータの時間差を位相差とした。相互相関係数は、正規分布していないため、そのままでは値を比較できない。そこで、相関係数の値を Z-score に換算した。またさらに、1 周期ごとの peak-to-peak 眼球運動振幅を求めた。校正用の左右 10 度の二点交互視覚刺激への眼球運動振幅を 100% として、peak-to-peak 眼球運動振幅の相対比を算出した。

平成 24 年度

被験者は、児童 6 名 (7~12 歳) から成る。装置およびデータ記録および、データ分析は、平成 23 年度と同様であった。手順において平成 23 年度と異なる点は、0.2Hz 刻みで、0.2Hz から 1.4Hz まで移動する視標の追従眼球運動を測定した点である。平成 23 年度の若年成人の結果と比較検討した。

4. 研究成果

平成 22 年度

図 2 に各年齢群における眼球運動反応時間を示す。安静頸部姿勢での眼球運動反応時間は、3-4 歳群および、5-6 歳群がその他の年齢群と比較して有意に長かった ($p < 0.01$)。一方、眼球運動反応時間の頸部条件による有意差は、3-4 歳群および、5-6 歳群、7-8 歳群および 9-10 歳群では認められず、むしろ 3-4 歳群、5-6 歳群では、頸部前屈保持条件の方が安静頸部姿勢条件に比べて長い傾向であった。11-12 歳群および、若年成人群では、頸部前屈保持時の反応時間の方が安静頸部姿勢時のそれよりも有意に短かった (11-12 歳群: $t_{29} = 2.09$, $p < 0.05$; 若年成人群: $t_{31} = 4.28$, $p < 0.01$)。

安静頸部姿勢時の眼球運動反応時間と頸部前屈保持時の眼球運動反応時間短縮値との相関値は 7-8 歳群、9-10 歳群、11-12 歳群および、若年成人群で有意であった (7

－8 歳群： $r=0.49$, $p<0.05$ ；9－10 歳群： $r=0.53$, $p<0.05$ ；11－12 歳群： $r=0.72$, $p<0.01$ ；若年成人群： $r=0.69$, $p<0.01$ 。一方、3－4 歳群および、5－6 歳群では有意な相関値が認められなかった。

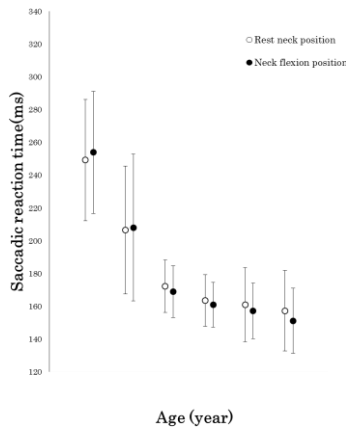


図 2

考察

安静頸部姿勢での眼球運動反応時間は、年齢変化に伴い短くなった。3－4 歳群はその他の群に比べていずれも有意に長い値であった。5－6 歳群はその他の高い年齢群と比較していずれも有意に長い値であった。7－8 歳群、9－10 歳群、11－12 歳群および、若年成人群では反応時間に有意差は認められなかった。安静頸部姿勢時の眼球運動反応時間の発達的变化はこれまでの先行研究 (Munoz et al 1998) と同一であった。

若年成人群では、頸部前屈姿勢を保持した場合に、眼球運動反応時間が有意に短縮した。この結果は、これまでの我々の先行研究と一致する結果となった (Fujiwara et al, 2000, 2006)。本研究における重要な結果は、頸部前屈保持に伴う眼球運動反応時間の短縮が 11－12 歳群でのみ認められ、それよりも若い年齢群では認められなかったことである。安静頸部姿勢時の反応時間と頸部前屈保持時の反応時間短縮値との間の相関値は、7－8 歳群、9－10 歳群、11－12 歳群および若年成人群において有意な値を示した。以上のことから、頸部前屈保持に伴う眼球運動反応時間の短縮は、7－8 歳群で認められるようになり、その形成時期は 12 歳ころまでであることが明らかとなった。以上のことをふまえると、頸部前屈保持に伴う眼球運動反応時間短縮に関わる脳賦活機構が、12 歳ころまでに形成されることが推察された。

平成 23 年度

(1) 眼球運動の相関度 (Z 値) について

視標の動きに対する眼球運動の相関度 (Z

値) は、高周波数になるにつれて低下する周波数による有意な影響 ($F_{14,182} = 36.34$, $p < 0.01$) がみられた (図 3)。多重比較検定の結果、最も相関度が高い 0.1Hz に比べて 0.6Hz 以上の周波数とで有意差が認められた ($ps < 0.01$)。1.2Hz 以上では、隣り合う周波数で相関度の有意差は認められなかった。頸部前屈条件の方が安静頸部姿勢に比べて有意に高かった ($F_{1,13} = 4.68$, $p < 0.05$)。

(2) 眼球運動の位相差について

視標の動きに対する眼球運動の位相差は、高周波数になるにつれて、位相進みを示す周波数による有意な影響がみられた ($F_{14,182} = 19.03$, $p < 0.01$)。多重比較検定の結果、最も位相遅れが大きい 0.1Hz は 0.3Hz 以上の周波数と有意差が認められた ($ps < 0.01$)。1.2Hz 以降では、隣り合う周波数で認められなかった。頸部前屈による有意な影響は認められなかった (図 4)。

(3) 眼球運動振幅の相対比について

視標の動きに対する眼球運動振幅の相対比は、高周波数になるにつれて低下する周波数による有意な影響 ($F_{14,182} = 84.23$, $p < 0.01$) がみられた (図 5)。多重比較検定の結果、最も相対振幅が大きい 0.1Hz は 0.3Hz 以上の周波数と有意差が認められた ($ps < 0.01$)。頸部前屈条件の方が安静頸部姿勢に比べて有意に高かった ($F_{1,13} = 13.60$, $p < 0.05$)。

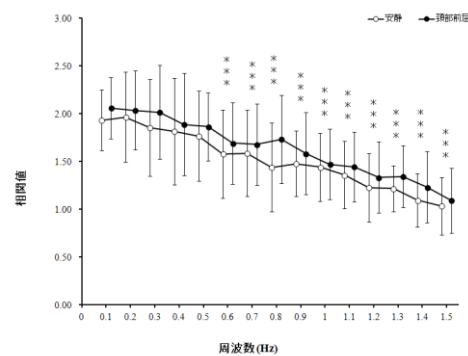


図 3

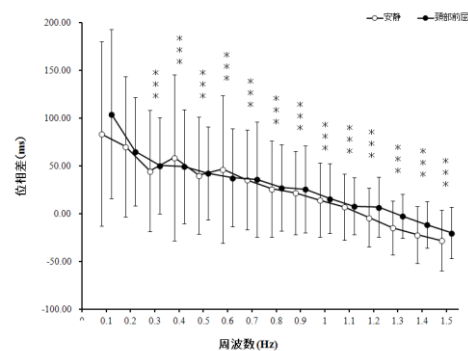


図 4

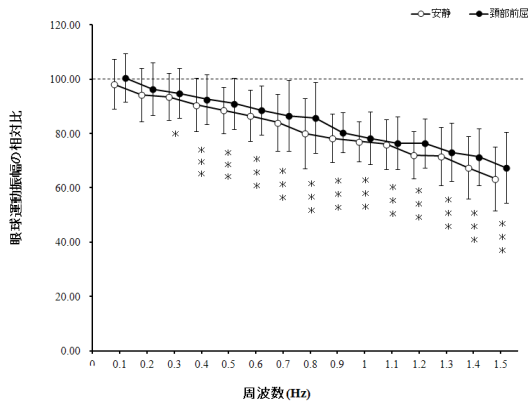


図 5

考察

本研究では、正弦波状に移動する視標追従能力の頸部前屈保持に伴う変化についての最初の研究である。重要な知見は、視標に対する眼球運動の相関度および眼球運動振幅の相対比は、頸部前屈保持条件の方が安静頸部条件に比べて有意に高かったことである。このことから、正弦波状に移動する視標の追従能力は、頸部前屈保持に伴い向上することが明らかとなった。眼球運動による正確な追従には滑動性眼球運動が用いられる。この眼球運動の神経経路は、これまで詳細に同定されてきており、衝動性眼球運動と共通した脳部位に加えて、その他の高次脳部位も強く関与することが報告されている (Leigh and Zee 1991 Pierrot-Deseilligny 1994)。前述したように頸部前屈を保持すると汎在性の脳賦活作用が生じるとの知見が得られている (Fujiwara et al 2001, 2007, 2009, 2012; Kunita and Fujiwara 2009)。頸部前屈保持に伴う汎在性の脳賦活作用が視標追従と関連する神経経路に影響を及ぼすことが推察される。

平成 24 年度

(1) 眼球運動の相関度 (Z 値) について

児童における視標の動きに対する眼球運動の相関度 (Z 値) は、高周波数になるにつれて低下する周波数による有意な影響がみられた (図 6)。若年成人群では、頸部前屈条件の方が安静頸部姿勢に比べて有意に高かったが ($F_{1,13} = 4.68, p < 0.05$)、児童群ではむしろ頸部条件の方が低かった。

(2) 眼球運動の位相差について

視標の移動に対する眼球運動の位相差は、高周波数になるにつれて、位相進みを示す周波数による影響がみられた (図 8)。群間で比較すると、いずれの周波数においても、児童群が若年成人群と比較して位相遅れを示した。

(3) 眼球運動振幅の相対比について

視標の動きに対する眼球運動振幅の相対比は、高周波数になるにつれて低下する周波数による有意な影響がみられた (図 8)。若年成人群では、頸部前屈条件の方が安静頸部姿勢に比べて有意に高かったが ($F_{1,13} = 13.60, p < 0.05$)、児童群ではむしろ頸部前屈条件の方が低かった。

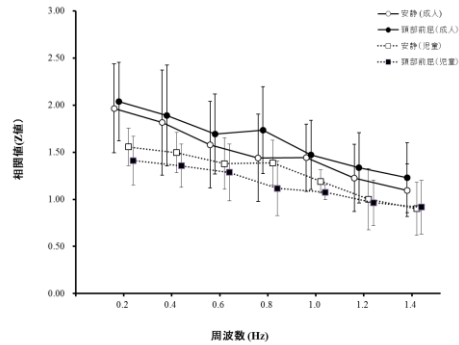


図 6

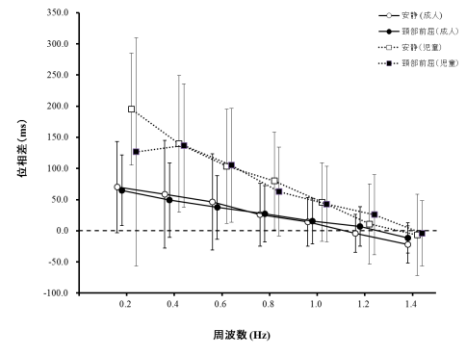


図 7

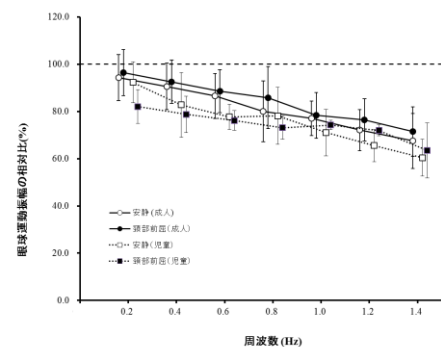


図 8

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 8 件)

①Fujiwara K, Asai H, Toyama H, Kunita K,

- Yaguchi C, Kiyota N, Tomita H, Jacobs JV (2010): Changes in muscle thickness of gastrocnemius and soleus associated with age and sex. *Aging Clinical and Experimental Research*, 22, 24-30(査読有).
- ② Fujiwara K, Kunita K, Irei M, Kiyota T, Kiyota N, Yaguchi C (2010): Effects of picture configuration, interval, and duration of visual stimulation on visual evoked potential induced by shutter-goggle visual stimulator. *Health and Behavior Sciences*, 8, 43-50(査読有).
- ③ Fujiwara K, Kiyota N, Kunita K, Yasukawa M, Maeda K, Deng X (2010): Eye movement performance and prefrontal hemodynamics during saccadic eye movements. *Journal of Physiological Anthropology*, 29, 71-78(査読有).
- ④ 渡辺一志、藤原勝夫、国田賢治 (2010): 頸部前屈姿勢保持に伴う脳賦活作用の上肢および下肢筋循環動態に及ぼす影響. *Health and Behavior Sciences*, 9, 31-37(査読有).
- ⑤ Kunita K, Fujiwara K, Kiyota T, Anan K, Kaida C (2011): Trunk and pelvis inclination movement angles in the frontal plane in single stance phase during stepping in place. *Health and Behavior Sciences*, 9, 101-106(査読有).
- ⑥ 国田賢治、藤原勝夫 (2011): 眼球運動反応時間および感覚誘発電位からみた頸部前屈姿勢による脳賦活作用. *Health and Behavior Sciences*, 9, 85-92(査読無).
- ⑦ Fujiwara K, Yaguchi C, Kunita K (2012): Effects of neck flexion on discriminative and cognitive processing in anticipatory postural control during bilateral arm movement. *Neuroscience Letters*, in press(査読有).
- ⑧ Fujiwara K, Kunita K, Kiyota N, Mammadova A, Irei M (2012): The effects of neck flexion on cerebral potentials evoked by visual, auditory and somatosensory stimuli and focal brain blood flow in related sensory cortices. *Journal of Physiological Anthropology*, in press(査読有).

[学会発表] (計 4 件)

- ① Kunita K, Fujiwara K, Kiyota N, Kiyota T, Anan K: Investigation on shortening of anti-saccade reaction time associated with the neck flexion by transcranial magnetic stimulation to the frontal eye field. 29th International Congress of Clinical Neurophysiology, 2010年10月, Kobe
- ② Kiyota T, Fujiwara K, Kunita K, Irei M, Anan K: Activation patterns of postural muscles during bilateral arm flexion in childhood. Society for Neuroscience 2010, 2010年11月, San Diego
- ③ Kunita K, Fujiwara K, Kiyota N, Kiyota T, Anan K: Investigation on shortening of anti-saccade reaction time related to maintaining the neck flexion by transcranial magnetic stimulation to the frontal eye field. Society for Neuroscience 2010, 2010年11月, San Diego
- ④ Kunita K, Fujiwara K, Kiyota T, Anan K: Changes in saccadic reaction time while maintaining neck flexion in children. Society for Neuroscience 2012, 2012年10月, New Orleans

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等 無

6. 研究組織

(1) 研究代表者

国田 賢治 (KUNTA KENJI)
札幌国際大学・スポーツ人間学部・教授
研究者番号: 20316003

(2) 研究分担者

藤原 勝夫 (FUJIWARA KATSUO)
金沢大学・医薬保健研究域医学系・教授
研究者番号: 60190089
清田 岳臣 (KIYOTA TAKEO)
札幌国際大学・人文学部・准教授
研究者番号: 40434956
阿南 浩司 (ANAN KOJI)
札幌国際大学・スポーツ人間学部・講師
研究者番号: 00553851