片側頸筋への振動刺激が主観的正面と 視覚対象の定位に及ぼす影響

小西琢 神戸大学 竹中毅 東京大学 末次晃 松嶋隆二 神戸大学

The effect of posterior-neck-muscle vibration on apparent straight-ahead and visual localization of targets

Taku Konishi (Kobe University), Takeshi Takenaka (University of Tokyo), Akira Suetsugu,
and Takaji Matsushima (Kobe University)

We examined the time course of apparent motion and apparent displacement of a visual target, and also the horizontal deviation of apparent straight-ahead related to left-posterior neck-muscle vibration. In Experiment 1, eight observers verbally judged the apparent motion and displacement of a visual target for 60 s from prior to the vibration to after its offset. We found that rightward apparent motion was almost identical in magnitude during the vibration and disappeared within 20 s after the vibration offset. In contrast, rightward apparent displacement gradually increased during the vibration, and was sustained over 40 s after the vibration offset. In Experiment 2, five observers manually pointed to the position of a visual point in the median plane; the mean pointed position in the vibration condition was found to deviate maximally 3° to the right of the mean pointed position in the control condition. In Experiment 3, the same observers closed their eyes and pointed to the apparent straight-ahead; the mean pointed positions did not differ between the vibration and control conditions.

Key words: neck-proprioception, egocentric localization, subjective straight-ahead, temporal pattern.

The Japanese Journal of Psychology
2007, Vol. 78, No. 4, pp. 381-389

環境からの情報は視覚や聴覚、触覚など様々な処理経路を経て入力されており、それらの情報を統合することによって人間の認知は成立している。特に視覚情報処理については他の感覚モダリティと独立して精緻な研究が行われてきた。しかし近年、視覚はそれ単独で機能するものではなく、身体の運動と密接に関係したシステムであることが指摘されており、認知システムにおける身体の役割についての関心が高まっている。

認知心理学において身体の役割が注目されている分野としては空間認知研究が挙げられる。なぜならば、外空間内の対象位置を正確に把握し、手を伸ばして掴むなどの空間的な働きかけを行うためには、自己の姿勢や方向を把握した上で、身体を基準とした座標系内での空間符号化が必要とされるからである。この座標系は視覚情報と前庭器および筋自己受容器由来の身体情報との感覚情報の統合によって構築されると考えら

れている (Karnath, 1997)。

空間認知における身体情報の関与は、動眼回転性錯視 (Oculo-Gyral Illusion: 以下 OGI とする) という錯視現象から示される。OGI とは受動的な身体回転による加速度刺激や内耳への注水による温度性前庭刺激によって、静止視対象の動き (みかけの動き) や位置変化 (みかけの偏位) が知覚される現象を指す (Arroyo & Hinchcliffe, 1977; Graybiel & Hupp, 1946)。Evanoff & Lackner (1987) は OGI におけるみかけの動きとみかけの偏位が二つの異なる要素であるとし、前者は外部世界に関連付けられた対象の見えであり、後者は実験参加者の身体方向に関連付けられた対象の偏位であろうと述べている。実際に、末次・古曳・松嶋 (2000) は回転加速度を刺激とした OGI についてみかけの動きとみかけの偏位を手続き的に分離して測定したところ、それらの時間的な減衰パターンが明らかに異なることを報告している。この結果は、前庭刺激による視対象のみかけの動きと偏位には異なる処理特性を持つ視覚-前庭情報の統合処理機構が関与していることを示唆する。

前庭器以外の有効な身体情報源としては頸筋自己受

容器（筋紡錘）が挙げられる。頸筋自己受容器は頭部-体幹の相対的方向を検出することから身体方向を基準とした空間座標処理に重要な役割を持つと考えられている。実際にその役割については頸筋自己受容器への刺激によって身体や視対象の定位に錯誤が起きることから検証されてきた。筋自己受容器への刺激方法としては微小電極による電気刺激や、筋紡錘が外部から与えられた振動に対して興奮する（Burke, Hagbath, Löfstedt, & Wallin, 1976; Roll, Vedel, & Ribot-Ciscar, 1989）ことを利用した振動刺激が代表的である。特に振動刺激は電気刺激よりも刺激範囲が限定できるという利点から、近年は振動刺激が主に利用されている。例えば、Lackner & Levine (1979) は後部片側頸筋への振動刺激によって、刺激を与えた側と逆方向への頭部運動錯覚と OGI と同様の静止視対象のみかけの動きが惹起されることを報告している。また、Taylor & McCloskey (1991) は頸筋振動刺激による頭部方向の錯覚と視対象位置錯覚を定量的に測定した結果、偏位の方法は一致するが、その偏位量には差があることを報告している。このように、頸筋自己受容器への振動刺激による身体と視対象の定位錯誤についてそれらの量的な関係も含めて明らかにされてきた一方で、振動刺激の影響の時間的な側面については未だ不明な部分が多い。そもそも現実場面において対象と自己との相対的空間関係は対象の動きや身体の運動によって時々刻々と変化する。そのため、身体を基準とした空間把握を行うためには身体情報や視覚情報の入力の時間的な変化を考慮したダイナミックな統合機構が要求される。さらに、感覚処理経路の解剖学的な違いを考慮すると、各々の感覚情報伝達の遅れに対する時間的補正も必要とされる。このことから、視覚と身体情報の統合処理の本質的な解明のためにはその時間的な側面に注目することが重要であると考えられる。本研究は視覚情報と頸筋自己受容情報の統合処理メカニズムの特徴を明らかにすることを目的として、頸筋自己受容器への振動刺激が身体および視対象の定位に与える影響について刺激中のみならず刺激後の残効も含めてその時間的な変化を定量的に測定した。

実験 1 では頸筋自己受容刺激による視対象錯覚の時間的な変化に注目した。頸筋振動刺激による視対象錯覚については、OGI と同様にみかけの動きという動き錯覚とみかけの偏位という位置錯覚が解離して存在する可能性が指摘されている（Biguer, Donaldson, Hein, & Jeannerod, 1988）。その根拠として Biguer らは振動刺激の開始後数秒でみかけの偏位は消失し、依然として動きのみは知覚される純粋運動（pure motion）錯覚を報告している。しかし、その純粋運動錯覚は内観報告でしかないことから、本研究では新たにみかけの動きとみかけの偏位を手続き的に分離して定量的に測定し、両者の時間変化パターンの相違を比較した。

実験 1

後部の左側頸筋振動刺激による視対象のみかけの動きとみかけの偏位を手続き的に分離し、言語的推定法を用いてその時間変化を計測した。

実験参加者 神戸大学心理学専攻の学部生および大学院生 8 名（男性 5 名、女性 3 名、年齢は 19–24 歳）であった。

装置 視対象の光点には緑色発光ダイオード（LED, 直径約 0.25°）を用いた。実験参加者の前方 120 cm の距離に 1.7°の間隔で上述の LED を水平方向に七つ配置し、中央位置の LED が実験参加者の正中面上に位置するように調節した。LED 呈示の時間、試行間隔、呈示回数はパーソナルコンピュータ（PC486SE, EPSON 社製）で制御した。実験参加者の座る椅子のヘッドレストには振動が頭蓋に伝わらなくするようにゴム製のクッションと、頭部を固定するためのヘッドバンドを取り付けた。振動刺激装置（ラスター LS100, ナカニシ製）は、三脚台を利用して固定した。この装置は本来、研磨機として製造されたものであった。振動周波数は約 120 Hz、振幅は 3.5 mm であった。振動装置の可動部分の先端にプラスチック製の球（直径 13 mm）を取り付けた。この部位への振動刺激は実際に体幹を左回転させた状態に相応する筋自己受容器の興奮を引き起こすと考えられる。さらに適切な振動刺激位置の確認のために実験開始前に振動刺激を与え、光点が水平右方向へ最も滑らかに動いて知覚される頸部位置に振動球先端部の位置を調節した。刺激位置が僅かに移動するだけで左方向や上下方向への動き方向の変化が観察されたことから、何度も振動刺激と光点の呈示を行いながら慎重に振動刺激位置を決定した。

手続き 実験は全て暗室内で行われた。実験参加者を椅子に座らせ、頭部を約 30°前傾させた状態でヘッドバンドを用いて固定した（Figure 1）。その際に頭部方向と体幹方向を一致させた。その後、本実験の際に用いる言語的推定法の基準を実験参加者に記憶させることとそれを利用して光点位置弁別が可能になったことを確認するために、練習試行として振動刺激を与えない状態での光点位置の弁別課題を行った。

実験参加者には上記の水平方向に並んだ七つの光点のうち中央位置、すなわち実験参加者の正中面位置の光点を“0”，最も右の光点を“10”，最も左の光点を“−10”（それぞれ視角 5°に相当）として記憶するように教示した。さらに、“0”から“10”の間の二つの光点をそれぞれ“0”に近い順に“3”と“7”，“−10”までの間の光点を“−3”と“−7”として答えるように求めた。光点距離の物理的間隔と言語的間隔が厳密には対応していなかったが、予備実験において実験参加者が推定値に小数点値を用いることはまれであるこ

とを確認していたことから、言語ラベルを整数値に統一するために至近の整数値（“3.33”を“3”，“6.66”を“7”）を採用した。練習試行では七つのうち一つの光点をランダムに呈示し、それらの基準値に従った弁別判断が最終的に70%以上の正答率に達するまで光点位置弁別を約30分間求めた。練習試行の後、本実験を開始した。本実験においては光点呈示位置は変化させず、常に実験参加者の正中面位置の光点のみを課題条件ごとに特定の呈示時間と試行間隔で呈示した。

実験課題は位置判断課題と動き判断課題の2種類を設定し、実験参加者全員が両課題を行った。

位置判断課題 光点の呈示時間を10 ms、試行間隔を3 990 msとして30回連続呈示した。課題は、主観的な正面に対する光点の位置（右か左か）と、主観的な正面からの見えの水平距離を練習試行で記憶した言語的推定法を用いて口頭報告することであった。報告する数値は整数のみとして、光点位置が正面上であると知覚される場合は“0”と報告するように教示した。光点位置報告は毎回の光点呈示直後の試行間隔中に求め、これを1試行として連続30試行（すなわち120秒間）を1セットとした。課題中は実験参加者が自由に視線方向を変えることを防ぐため、光点が呈示されていない時は自分の正面と感じられる方向に視線を向けておくように教示した。

動き判断課題 光点の呈示時間を1 000 ms、試行間隔を3 000 msとして30回連続呈示した。課題は、光点が水平方向に動いて見えた場合に、動きの方向（右向きか左向きか）と動きの大きさを口頭で報告することであった。動きの見えの大きさ判断は練習試行で記憶した光点間距離（視角5°の距離を“10”としたもの）を基準として行うように求めた。報告する数

値は整数のみとして、静止して見える場合は“0”と報告させた。動きの報告は位置判断課題と同様に毎回の光点呈示直後の各試行間隔中に求め、これを1試行として計30試行（すなわち120秒間）を1セットとした。

振動刺激呈示スケジュール 頸筋への振動刺激は両課題とも30回光点連続呈示のうち5回目の呈示直後から10回目の直後までの20秒間与えた。

先に述べたように連続30試行を1セットとして、各課題について6セット、合計12セットを各実験参加者に求めた。課題の順番は実験参加者ごとにランダムにし、各課題間には適宜休憩を取った。

結果 位置判断課題では知覚された光点位置が自分の正面上に知覚された場合には“0”，それよりも右方向を正の値、左方向を負の値として、実験参加者ごとに30試行中の各試行の平均推定値を求めた。みかけの動き課題の結果においても同様に、静止を“0”，右方向への動きを正の値、左方向への動きを負の値として各試行の平均値を求めた。

次に全実験参加者の平均推定値を求め、横軸に経過時間を取り課題条件ごとにプロットしたものをFigure 2に示す。グラフ内の斜線範囲は振動刺激が与えられた期間を表す。本来、言語的推定法の利用法の違いから位置と動き判断課題の結果とを同一の分析内で直接比較することはできない。しかし、本実験の目的は頸筋振動刺激によるみかけの偏位とみかけの動きという二つの現象の時間的変化の調査であることから、それらを比較する上で同一のグラフで示すことが適切であると考えた。Figure 2が示すように、左頸筋への振動刺激中に静止視対象の右方向へのみかけの偏位とみかけの動きがそれぞれ観察された。しかし、それらの時間変化には異なる特徴が認められた。みかけの偏位量は振動刺激開始後から緩やかに増加し、且つ、振動刺激停止後も緩やかに減衰することを特徴としていた。これに対して、みかけの動き量は振動刺激開始直後に急速に増加し、振動刺激中は一定の動きの量を保ち、振動刺激停止直後は急速に動き錯覚が消失する特徴が認められた。

120秒間の連続30試行を振動刺激前（1-5試行）、刺激中（6-10試行）、刺激後0-20秒（11-15試行）、刺激後20-40秒（16-20試行）、刺激後40-60秒（21-25試行）、刺激後60-80秒（26-30試行）と20秒区切りで6ステップの期間に分類し、各期間の平均値を実験参加者ごとに算出した。偏位量や動きの量の時間的変化を検討するためにその値を従属変数として1要因の分散分析を各判断課題に対して個別に行った。その結果、両課題ともに測定期間の主効果が有意であった（位置判断； $F(5, 35) = 42.9, p < .01$ ，動き判断； $F(5, 35) = 9.09, p < .01$ ）。課題ごとにRyan法による多重比較を行った結果、位置判断課題では振動

Figure 1. The observer was seated with the head secured. A vibration was applied to the left dorsal neck muscle. The observer looked at LED, and reported the apparent displacement or motion.

刺激前と刺激後 20–40 秒期間まで含む各期間との間に有意差が認められた (全て $p < .05$)。このことは振動刺激によるみかけの偏位は刺激停止後の 40 秒経過時点までは持続することを示している。また、刺激中とそれ以降の全期間との間に、刺激後 20–40 秒とそれ以降の全期間との間に有意差が認められた (全て $p < .05$)。ただし、刺激後 40–60 秒と刺激後 60–80 秒との間には有意差は認められなかった。この結果から、振動刺激によって生じるみかけの偏位は振動刺激後は時間経過に従って徐々に減衰することが示された。

動き判断課題では振動刺激中と他の全ての期間との間にのみ有意差が認められ (全て $p < .05$)、刺激前と刺激後の全期間および刺激後の各期間の間には有意差は認められなかった。すなわちこの結果から、みかけの動きは振動刺激中にのみ生じ、刺激停止後はみかけの偏位よりも短時間で急激に消失することが明らかになった。

考察 実験 1 では左側後部頸筋への振動刺激によって右方向への視対象の位置と動きの錯覚が生じることを示した。ただし、観察された光点の動きや位置の錯視について振動刺激以外の要因が影響した可能性も否定はできない。なぜなら、実験参加者は振動刺激中に振動子の発する音や振動子の触れる触圧も同時に知覚しており、この種の残余刺激の影響を特定していないからである。しかし、そのような問題点があるにもかかわらず、実験 1 の結果は頸筋振動刺激が光点の位置や動きの錯視の主因と主張する多くの先行研究 (Biguer et al., 1988; Lackner & Levine 1979; Taylor & McCloskey 1991) の結果と一致することから、以下の論考では振動子から出る残余刺激の効果はなかったものと解釈する。

みかけの動きと偏位の各時間変化パターンに関して、特に振動刺激後の残効に注目すると、みかけの動きは急激に消失する一方で、みかけの偏位は徐々に消失しながら比較的長時間持続することが確かめられた。このことは、みかけの動きは連続的な位置変化の結果として知覚されているものではなく、みかけの動きとみかけの偏位が視対象定位の独立した成分であることを示唆する。位置と動き成分の独立という結果は末次他 (2000) の OGI の結果とも共通することであり、視覚情報と前庭情報の統合処理だけではなく視覚情報と頸筋自己受容情報の統合処理にも特性の異なる複数の処理メカニズムが存在する可能性を示した。

実験 2

実験 1 では、みかけの動きを対象と対象の関係の変化として測定し、一方、みかけの偏位は自己と対象の関係の変化として測定した。つまり、みかけの偏位とは身体と視対象との空間的關係性の変化であり、その時間変化は身体情報と視覚情報の統合過程の時間的側面をより直接的に反映していると考えられる。そこで本研究が目的とする身体情報と視覚情報との統合過程の調査において、特にみかけの偏位を詳細に検討することが有効であると考えた。実験 1 では後部左側頸筋振動刺激によるみかけの偏位について言語推定法を用いて測定したが、実験 2 では指差し反応による運動課題を用いてその時間変化を観察した。

実験参加者 神戸大学心理学専攻の学部生および大学院生 5 名 (全て男性、年齢は 21–25 歳、右利き) であった。

装置 振動装置および実験参加者の座る椅子などは実験 1 と同じ装置を用いた。実験 2 では腕の動作を求めることから、身体動作中にも振動刺激位置をより安

Figure 2. Mean magnitude estimates and standard error of the apparent displacement and motion as a function of the time. Negative values indicate a leftward bias of displacement or motion, positive values a rightward bias. Shadow area indicates the duration of vibration stimulation.

定させるために稼動部分の先端を直径 20 mm の円形の平板に交換した。視標としての光点は実験 1 と同様に実験参加者の正中面の光点だけを呈示した。指差し反応の際に呈示光点が指によって遮蔽されることを防ぐために、鏡による反射を用いて光点を呈示した。その際、実験参加者と光点の距離は 60 cm になるように調節した。光点呈示は実験 1 と同じコンピューターを用いて時間、試行間隔、点灯回数を制御した。指差し動作は実験参加者の腹部前方に水平に取り付けられたアクリル板上で行われた。報告位置はアクリル板の下に取り付けた赤外線 CCD カメラ（浜松ホトニクス社製；C7500-10）で撮影、録画し、解析した。

手続き 実験課題は、知覚された光点の位置を指差し反応によって判断することであり、実験条件として振動あり条件と振動なし条件の 2 条件を設定した。実験は全て暗室内で行なわれた。実験参加者は椅子に座り、頭部中心線と体幹中心線が一致した状態で頭部を固定された。振動刺激位置は実験 1 と同様の方法で調節した。動作開始点は統制せず、腕を引いた状態でアクリル板上の自由な位置からの光点への指差し反応を求めた。なお、アクリル板に人差し指が触れた地点を報告位置点としてそこから修正動作は行わないように教示した。本実験を行う前に滑らかな動作が出来るようになるまで数回練習試行を行った。本実験では光点は呈示時間を 100 ms、試行間隔を 3 900 ms として連続 20 回呈示した。光点の位置報告は光点が呈示された後に速やかに行うよう求め、これを 1 試行として計 20 試行を 1 セットとし、各条件を 8 セット、合計 16 セットを実験参加者に求めた。セットの順番は実験参加者ごとにランダム化し、各セット間には適宜休憩を入れた。

振動あり条件においては 20 回の光点連続呈示のう

ち、実験 1 と同様に 5 回目の呈示の直後から 10 回目の直後までの 20 秒間振動刺激を与えた。

解析 赤外線 CCD カメラによる撮影像を画像メモリーボード（ディテクト社製、DIG-PCI）を通してパーソナルコンピューターに取り込み、2 次元解析ソフト（ディテクト社製、DIPP-motion2D）を用いて解析した。各試行の報告位置点を指の先端中心部分として、その報告位置点と光点位置とのずれの距離を算出し、角度変換を施した値を偏位量として記録した。

結果 物理的光点位置を“0”，それよりも右方向への位置のずれを正の値、左方向を負の値として、各試行の実験参加者全体の平均偏位量を算出した。その結果について、実験 1 と同様に開始から第 20 試行までの 80 秒間の経過時間に変換し、課題条件ごとに横軸に経過時間を配して条件ごとにプロットしたものを Figure 3 に示す。グラフ内の斜線範囲は振動刺激が与えられた期間を表す。解析の結果、振動なし条件では一貫して報告位置は物理的な光点位置よりも右方向へのずれが確認されたが 80 秒間を通して顕著な変動はなく安定した位置を保っていた。振動あり条件では振動刺激直前まで振動なし条件と同程度の右方向へのずれを示した。振動開始直後から右方向への顕著な偏位増加が認められた。さらに振動刺激停止後は数十秒かけて緩やかに偏位が回復する傾向が観察された。

実験 1 と同様に 80 秒間の連続 20 試行を 20 秒区切りで 4 ステップの期間（振動刺激前、刺激中、刺激後 0—20 秒、刺激後 20—40 秒）に分類し、期間内の平均値を算出した。その値を従属変数として 2（振動あり・なし）× 4（期間）の 2 要因分散分析を行った。その結果、各要因の主効果が認められ（振動； $F(1, 4) = 11.22, p < .05$ ，期間； $F(3, 12) = 7.67, p < .01$ ），交互作用も有意であった（ $F(3, 12) = 10.45, p < .01$ ）。下位検

Figure 3. Mean angular deviation and standard error of subjective visual target position from the objective position (0°) as a function of the time. Negative values indicate a leftward and positive values indicate a rightward displacement. Shadow area indicates the duration of vibration stimulation on the VIB condition.

定させるために稼動部分の先端を直径 20 mm の円形の平板に交換した。視標としての光点は実験 1 と同様に実験参加者の正中面の光点だけを呈示した。指差し反応の際に呈示光点が指によって遮蔽されることを防ぐために、鏡による反射を用いて光点を呈示した。その際、実験参加者と光点の距離は 60 cm になるように調節した。光点呈示は実験 1 と同じコンピューターを用いて時間、試行間隔、点灯回数を制御した。指差し動作は実験参加者の腹部前方に水平に取り付けられたアクリル板上で行われた。報告位置はアクリル板の下に取り付けた赤外線 CCD カメラ（浜松ホトニクス社製；C7500-10）で撮影、録画し、解析した。

手続き 実験課題は、知覚された光点の位置を指差し反応によって判断することであり、実験条件として振動あり条件と振動なし条件の 2 条件を設定した。実験は全て暗室内で行なわれた。実験参加者は椅子に座り、頭部中心線と体幹中心線が一致した状態で頭部を固定された。振動刺激位置は実験 1 と同様の方法で調節した。動作開始点は統制せず、腕を引いた状態でアクリル板上の自由な位置からの光点への指差し反応を求めた。なお、アクリル板に人差し指が触れた地点を報告位置点としてそこから修正動作は行わないように教示した。本実験を行う前に滑らかな動作が出来るようになるまで数回練習試行を行った。本実験では光点は呈示時間を 100 ms、試行間隔を 3 900 ms として連続 20 回呈示した。光点の位置報告は光点が呈示された後に速やかに行うよう求め、これを 1 試行として計 20 試行を 1 セットとし、各条件を 8 セット、合計 16 セットを実験参加者に求めた。セットの順番は実験参加者ごとにランダム化し、各セット間には適宜休憩を入れた。

振動あり条件においては 20 回の光点連続呈示のう

ち、実験 1 と同様に 5 回目の呈示の直後から 10 回目の直後までの 20 秒間振動刺激を与えた。

解析 赤外線 CCD カメラによる撮影像を画像メモリーボード（ディテクト社製、DIG-PCI）を通してパーソナルコンピューターに取り込み、2 次元解析ソフト（ディテクト社製、DIPP-motion2D）を用いて解析した。各試行の報告位置点を指の先端中心部分として、その報告位置点と光点位置とのずれの距離を算出し、角度変換を施した値を偏位量として記録した。

結果 物理的光点位置を“0”，それよりも右方向への位置のずれを正の値、左方向を負の値として、各試行の実験参加者全体の平均偏位量を算出した。その結果について、実験 1 と同様に開始から第 20 試行までの 80 秒間の経過時間に変換し、課題条件ごとに横軸に経過時間を配して条件ごとにプロットしたものを Figure 3 に示す。グラフ内の斜線範囲は振動刺激が与えられた期間を表す。解析の結果、振動なし条件では一貫して報告位置は物理的な光点位置よりも右方向へのずれが確認されたが 80 秒間を通して顕著な変動はなく安定した位置を保っていた。振動あり条件では振動刺激直前まで振動なし条件と同程度の右方向へのずれを示した。振動開始直後から右方向への顕著な偏位増加が認められた。さらに振動刺激停止後は数十秒かけて緩やかに偏位が回復する傾向が観察された。

実験 1 と同様に 80 秒間の連続 20 試行を 20 秒区切りで 4 ステップの期間（振動刺激前、刺激中、刺激後 0-20 秒、刺激後 20-40 秒）に分類し、期間内の平均値を算出した。その値を従属変数として 2（振動あり・なし）× 4（期間）の 2 要因分散分析を行った。その結果、各要因の主効果が認められ（振動； $F(1, 4) = 11.22$, $p < .05$, 期間； $F(3, 12) = 7.67$, $p < .01$ ），交互作用も有意であった（ $F(3, 12) = 10.45$, $p < .01$ ）。下位検

Figure 3. Mean angular deviation and standard error of subjective visual target position from the objective position (0°) as a function of the time. Negative values indicate a leftward and positive values indicate a rightward displacement. Shadow area indicates the duration of vibration stimulation on the VIB condition.

に示す。

両条件とも全体的に報告位置は実験2と同様に正中面に対して右方向へのずれを示した。振動なし条件では最初の数試行に変動があるものの、その後は大きな変動はなく安定した位置を保っていた。振動あり条件では振動刺激開始直前まで振動なし条件と類似した変動が認められた。しかし、振動開始直後から緩やかな右方向への偏位量の増加が認められ、その偏位は振動刺激停止後も十数秒間持続する傾向が観察された。

実験2と同様に80秒間の連続20試行を20秒区切りで4ステップの期間に分類し、期間内の平均値を従属変数として2(振動あり・なし)×4(期間)の2要因分散分析を行った。その結果、各要因の主効果(振動; $F(1, 4)=0.58, p=.48$, 期間; $F(3, 12)=0.83, p=.56$)および交互作用は有意ではなかった($F(3, 12)=3.02, p=.07$)。

考察 頸筋振動刺激が主観的正面の判断に及ぼす影響について、分散分析の結果からは振動刺激の影響は認められなかった。ただし、主観的正面の時間的推移結果を見る限りにおいては振動刺激中に右方向に偏位していた。実験3では報告位置の標準誤差が実験1や実験2の視覚対象位置の報告よりも顕著に大きかったが、このことは自己の正面を視覚手がかりが全くない状況で報告するという課題の困難さが関係しているのかもしれない。この点に関しては今後実験参加者を増やすとともに更なる検討を加える予定である。

全体的考察

本研究では頸筋自己受容器への振動刺激が視覚対象と身体の定位に及ぼす影響について、その時間的変化の特徴を明らかにした。実験1ではみかけの動きとみかけの偏位について言語推定法を用いて各々の時間的変化パターンを測定した結果、みかけの動きは振動刺激の開始あるいは停止に対して急激な生起あるいは消失を示し、刺激中のみかけの動きの量は増減せずに一定持続することが明らかになった。一方、みかけの偏位は振動刺激中は緩やかに増加し続け、刺激後は少なくとも40秒経過付近までは持続することが明らかになった。実験2ではみかけの偏位の時間変化を指差し反応による運動課題を用いて測定した。その結果、実験1の言語推定法による位置判断結果と同様に振動刺激中の右方向への偏位が観察された。また、振動刺激後20秒までの偏位持続が観察された。実験3では実験2と同様の運動報告によって振動刺激による主観的正面の偏位を測定した。分散分析結果からは振動刺激の影響は認められなかったが、振動刺激中に主観的正面は視対象のみかけの偏位と同じ右方向に偏位する傾向が見られた。以上のように、視覚対象と身体の定位に頸筋振動刺激が与える時間的影響は、各々の知覚的側面と運動的側面によって異なることが示された。

みかけの動きについて 振動刺激に対する生起・消失が他の課題と比較して極めて短く、振動刺激中の動きの量の一定持続という時間的特性は、振動刺激に対する筋自己受容器の応答特性(Burke et al., 1976)と類似している。このことからみかけの動きの生起には、頸筋自己受容器からの求心性入力の変化を即時的に反映する反射的な機構が関与している可能性がある。第一に考えられることは、振動刺激が頸筋動眼反射のような眼球運動を惹起し、そのretinal slipがみかけの動きとして観察されたということである。実際に片側頸筋振動刺激による不随意的な水平眼球運動が惹起されることは確認されている(Lennerstrand, Han, & Velay, 1996; Popov, Lekhel, Faldon, Bronstein, & Gresty, 1999)。しかし、その各々の結果の眼球運動方向は正反対であること、さらに手続き的に眼球運動を統制しても依然としてみかけの動きが知覚されること(Biguer et al., 1988)を考慮すると、みかけの動きが単純にretinal slipを原因とするとは考えにくい。ただし、実際の眼球運動が生起してなくともPost & Heckmann (1986)の誘導運動の説明仮説のように、oculomotor制御系からの眼振抑制信号が視対象位置知覚に影響を及ぼした可能性も考えられる。このような眼球運動制御系とみかけの動きとの関係については、眼球運動の有無とその時間的変化に関する今後の調査を必要とする。末次他(2000)は前庭器への刺激によるOGIのみかけの動きの時間変化は前庭器の応答特性に近いことを示しており、頸筋自己受容器への刺激と前庭刺激に共通してみかけの動きの時間変化が各々の受容器の応答特性と類似することは大変興味深い。

みかけの偏位について 振動刺激中の偏位変化傾向に注目すると言語推定法を用いた実験1の結果では刺激時間経過に従っての緩やかな偏位量増加が特徴的であった。一方、指差し反応を用いた実験2の結果においては振動刺激中の偏位方向は一致するが、振動刺激中の偏位量は比較的安定していた。このような振動刺激中の偏位増加傾向に違いが認められたことについては、単に課題の違いによる影響の他に、実験参加者と視対象との距離の違いによる影響も考えられる。実験2では視対象までの距離が実験1よりも近かったことから、絶対的な偏位量が収縮したために顕著な増加が観察されなかったのかもしれない。振動刺激停止後については実験2では刺激後の影響は実験1よりも短かったが、両課題結果ともに偏位が振動刺激後20秒までは持続することが示された。振動刺激に対する筋自己受容器の興奮は刺激停止と同時に消失する(Burke et al., 1976)ことやPopov et al. (1999)やLennerstrand et al. (1996)を見る限りにおいて頸筋振動刺激による不随意的な眼球運動の消失は刺激停止後の数秒以内と短時間であることを考慮すると、みかけの偏位には末梢の入力変化を比較的直接的に反映させるよう

な反射的機構や眼球運動制御機構よりも高次の処理過程が関係していることが示唆される。

主観的正面の偏位 本研究では頸筋振動刺激による身体表現の変化をより直接的に観察するために、視覚情報を用いない触運動感覚的な主観的正面の報告を求めた。分散分析結果では主観的正面における振動刺激の効果は認められなかったが、Figure 4 を視認する限りではみかけの偏位の時間推移と類似することが示唆された。この傾向は視対象のみかけの偏位には主観的な正面偏位という身体表現の歪みが関与しているとする仮説 (Biguer et al., 1988) とは矛盾しない。ただし、もし実験 3 で見られたように振動刺激中の主観的正面の偏位方向が右方向であるとすれば、その偏位方向は Karnath (1994) によって示された視覚的正面の偏位方向と逆方向となる。ただ、頭部のみを左右いずれかに傾斜させた状態での主観的垂直判断が視覚報告と触運動感覚的報告とでエラー方向が逆方向になる (Guerraz, Luyat, Poquin, & Ohlmann, 2000) ことから、さらに今後は身体方向の決定に関わる筋自己受容器情報の役割について触運動感覚的な正面判断における頸筋振動刺激の影響の有無を確認するとともに、視覚的な正面偏位との関係も視野に入れて調査を進めてゆく必要があるだろう。

統合処理システムの時間的特性 感覚情報の統合処理過程において最も重要な問題は情報間の時間的補正をどのように行うかという点にある。身体の各部位からの複数の筋自己受容情報を統合する場合、各部位と脳までの物理的な距離の違いによって発生する情報到達のタイムラグを補正することが必要不可欠である。また、身体方向の決定において頸筋自己受容器と前庭器は加算もしくは相殺作用を持ち (Karnath, 1994)、補償関係的にも機能する (Strupp et al., 1998) ことは知られているが、それら時間応答特性の異なる末梢からの求心性入力をもとに時間調整しているのかについては未だ明らかではない。これに対して、本研究は視対象の定位に関わる処理系が頸筋自己受容器からの求心性入力に対してある程度の時間遅れ要素を持つことを示した。この結果はまさに視覚情報と身体情報の時間的な統合過程のダイナミックな特性を明らかにしたものであると言える。今後は本研究の結果と前庭器刺激の時間的影響に関する末次他 (2000) の結果とを総合的に検討することで、異なるモダリティ間の時間の同期や統合過程がさらに解明されるであろう。

引用文献

- Arroyo, J. A., & Hinchcliffe, R. (1977). Caloric test with oculogyral illusion as response. *Journal of Laryngology and Otology*, **91**, 309-321.
Biguer, B., Donaldson, I. M., Hein, A., & Jeannerod, M.

- (1988). Neck muscle vibration modifies the representation of visual motion and direction in man. *Brain*, **111**, 1405-1424.
Burke, D., Hagbath, K. E., Löfstedt, L., & Wallin, B. G. (1976). The responses of human muscle spindle endings to vibration of non-contracting muscles. *Journal of Physiology*, **261**, 673-693.
Evanoff, J. N., & Lackner, J. R. (1987). Influence of maintained ocular deviation on the spatial displacement component of the oculogyral illusion. *Perception and Psychophysics*, **42**, 25-28.
Graybiel, A., & Hupp, D. I. (1946). The oculogyral illusion: A form of apparent motion which may be observed following stimulation of the semicircular canals. *Journal of Aviation Medicine*, **3**, 1-12.
Guerraz, M., Luyat, M., Poquin, D., & Ohlmann, T. (2000). The role of neck afferents in subjective orientation in the visual and tactile sensory modalities. *Acta Otolaryngologica*, **120**, 735-738.
Karnath, H.-O. (1994). Subjective body orientation in neglect and the interactive contribution of neck muscle proprioception and vestibular stimulation. *Brain*, **117**, 1001-1012.
Karnath, H.-O. (1997). Neural encoding of space in egocentric coordinates? :Evidence for and limits of a hypothesis derived from patients with parietal lesions and neglect. In P. Thier & H.-O. Karnath (Eds.), *Parietal lobe contributions to orientation in 3D space*. Berlin: Springer-Verlag, pp. 497-520.
Lackner, J. R., & Levine, M. S. (1979). Changes in apparent body orientation and Sensory localization induced by vibration of postural muscles: Vibratory myesthetic illusions. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, **50**, 346-354.
Lennerstrand, G., Han, Y., & Velay, J. L. (1996). Properties of eye movements induced by activation of neck muscles proprioceptors. *Graefes' Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, **234**, 703-709.
Popov, K. E., Lekhel, H., Faldon, M., Bronstein, A. M., & Gresty, M. A. (1999). Visual and oculomotor responses induced by neck vibration in normal subjects and labyrinthine-defective patients. *Experimental Brain Research*, **128**, 343-352.
Post, R. B., & Heckmann, T. (1986). Induced motion and apparent straight ahead during prolonged stimulation. *Perception and Psychophysics*, **40**, 263-270.
Roll, J. P., Vedel, J. P., & Ribot-Ciscar, E. (1989). Alteration of proprioceptive messages induced by tendon vibration in man: A microneurographic study. *Experimental Brain Research*, **76**, 213-222.
Strupp, M., Arbusow, V., Dieterich, M., Sautier, W., & Brandt, T. (1998). Perceptual and oculomotor effects of neck muscle vibration in vestibular neuritis: Ipsilateral somatosensory substitution of vestibular function. *Brain*, **121**, 677-685.
末次 晃・古曳牧人・松嶋隆二 (2000). 回転刺激後の動眼回転性錯視と正中面偏位の経時的変化 心

理学研究, **70**, 462-468.

(Suetsugu, A., Kobiki, M., & Matsushima, T. (2000). The time course of the oculogyral illusion and displacement of the subjective midline after self-rotation. *Japanese Journal of Psychology*, **70**, 462-468.)

Taylor, J. L., & McCloskey, D. I. (1991). Illusions of head and visual target displacement induced by vibration of neck muscles. *Brain*, **114**, 755-759.

——2005. 10. 5 受稿, 2007. 5. 12 受理——