

視線の走査範囲の違いが認知負荷時の姿勢の安定化に及ぼす効果： Navon 刺激を用いた検討.

石田 光男*¹⁾

本研究では、視覚的走査範囲（注視点、Global 刺激、Local 刺激）の違いが認知課題（暗算）中の姿勢の揺れに及ぼす影響を検討した。実験参加者は視覚、運動、その他の中枢系または末梢系の機能障害のない18人の健康成人とした。Navon 刺激として Local 数字（高さ視角1.7°）から構成される Global 数字（高さ視角33.6°）を作成し、2つの Navon 刺激を連続して呈示した。参加者は Local 数字または Global 数字の2つの数字を合計し、偶数か奇数かを判断する計算課題を行った。この時、直立またはタンデム位にてフォースプレート上で姿勢を維持するよう指示された。そして重心軌跡、反応時間、課題のエラー数を条件ごとに記録した。その結果、注視点条件と比較して、Navon 刺激による計算課題遂行は、重心動揺振幅（総移動距離、包絡面積、左右方向と前後方向のRMS）の減少と中心周波数の増加をもたらした。一方 Local 条件に比べ、Global 条件は反応時間の遅延とエラー数の増加が見られたが、重心動揺振幅に違いはなかった。これらの知見は、視覚的走査範囲の違いとは無関係に、認知的負荷が姿勢安定化をもたらすことを示唆している。また認知課題を実行する際の姿勢の安定化は、前方へ注意が惹きつけられることによって誘導されることが示された。

キーワード：姿勢の安定化、認知的負荷、視線の走査範囲、Navon 刺激

1. はじめに

安定的な姿勢の維持は良い運動パフォーマンスを発揮するための重要な準備機能として位置づけることができる。姿勢制御は視覚、前庭感覚、体性感覚など複数の感覚入力によって維持されているが¹⁾、視覚刺激の様相は重心の揺れに大きく影響することが知られている²⁾。例えば、閉眼による視覚刺激の遮断は重心動揺振幅を増大させること³⁾、大きさや奥行きが周期的に変動する動的視標は、同期した揺れを誘発することが報告されている^{4,5)}。このように刺激の有無、空間的/時間的特性など視覚刺激の様々な属性が姿勢制御に影響を与えている。

さらに姿勢維持を要する場面において認知的負荷を与えると、重心動揺振幅が減少することが知られている。例えば二重課題事態では、揺れの中心周波数は高

周波帯域に変位し動揺振幅は減少することが報告されている⁶⁾。また安定的な姿勢維持の難しいタンデム位において、ストループ干渉課題を行うことにより動揺振幅が減少する⁷⁾。このような作用は、認知的負荷が注意の処理資源に影響を与え、身体感覚への意図的な注意が変容することによって生じるものと解釈されている⁸⁾。

しかしながら、視覚刺激を用いた認知課題の遂行は前方の視対象への注視を促し、それ自体が姿勢の安定化に貢献する可能性がある。通常、文字や図形などの弁別を求める課題を設定する場合、中心視野付近に呈示することが多い。それらの刺激の形態を認識できる有効視野はおおよそ半径10°程度である⁹⁾。従って視覚刺激が正面に配置されることにより、それ自体が姿勢を安定化するための視標として利用されるかもしれない。また開眼による課題遂行の場合、非視覚刺激による課題であったとしても、正面にある視対象が手が

* 1) 愛知学院大学心身科学部心理学科
(連絡先) 〒470-0195 愛知県日進市岩崎町阿良池12 E-mail: mitsu-da@dpc.agu.ac.jp

かりとして利用されることも考えられる。以上のことから、認知課題遂行時の姿勢の安定化は、前方の視対象への注視を介して副次的に引き起こされている可能性がある。

本研究では Navon 刺激¹⁰⁾ を用い、視線の走査範囲の違い（拡張または縮小）が姿勢制御に及ぼす影響について検討する。Navon 刺激とは、サイズの小さい文字（Local 刺激）の配置によって大きい文字（Global 刺激）を構成する文字または数字である。従って Global 刺激は広範囲に注意を向けることにより認識できる一方、Local 刺激は注意を焦点化することにより認識できる刺激となる。そこで本研究では、いずれかの数字の加算を求める計算課題を設定した（図1中央）。このような刺激を用い、認知的負荷時における視線の走査範囲の違いが重心動揺振幅や揺れの中心周波数に及ぼす影響を分析した。

II. 方法

1. 実験参加者

実験参加者は大学生18名（男性9名、女性9名、平均年齢20.4±1.1歳）とした。参加者は課題遂行に明らかな影響を与える視覚障害、精神障害、神経学的疾患、整形学的障害のない者とした。本研究の主旨、目的、方法を十分説明し、口頭および書面にて研究参加への同意を得た上で測定を実施した。

2. 装置

刺激呈示には1.8m（幅）×2.0m（高）の透過型スクリーンを使用し、実験参加者の観測位置から1m前方に設置した。また注視点の高さを各実験参加者の目線と水平になるように設定した。これらの視覚刺激の呈示および反応（反応時間、正誤）の記録はパーソナルコンピュータ（NEC製、型番：PC-VJ25LLZDG）および心理学実験ソフトウェア PsychoPy 1.91¹¹⁾ を用いて制御した。重心軌跡動揺の測定は重心軌跡測定器（竹井機器工業製、型番：T.T.K5810）を用いて、サンプリング周波数100Hzにて連続的に重心軌跡を記録した。

3. 刺激と条件

本研究は姿勢条件（立位、タンデム位）×走査範囲条件（注視点のみ、Global 刺激、Local 刺激）の2要因計画にて実施した。各条件の詳細は次に記述する。

(1) 姿勢条件

姿勢は直立姿勢（upright）とタンデム立位（tandem）を用いた。タンデム立位⁷⁾は左足部を前方、右足を後方に置き、右足の親指と左足の踵部とを接触させる足位とした（図1左）。両姿勢ともに手指の先端を体側に軽く触れさせた。なお測定中に体側から手指が大きく離れる、重心軌跡測定器から転落しそうになるなど著しくバランスを崩す危険を感じた場合には、測定器から速やかに降りて安全を確保することを優先するよう事前に説明した。

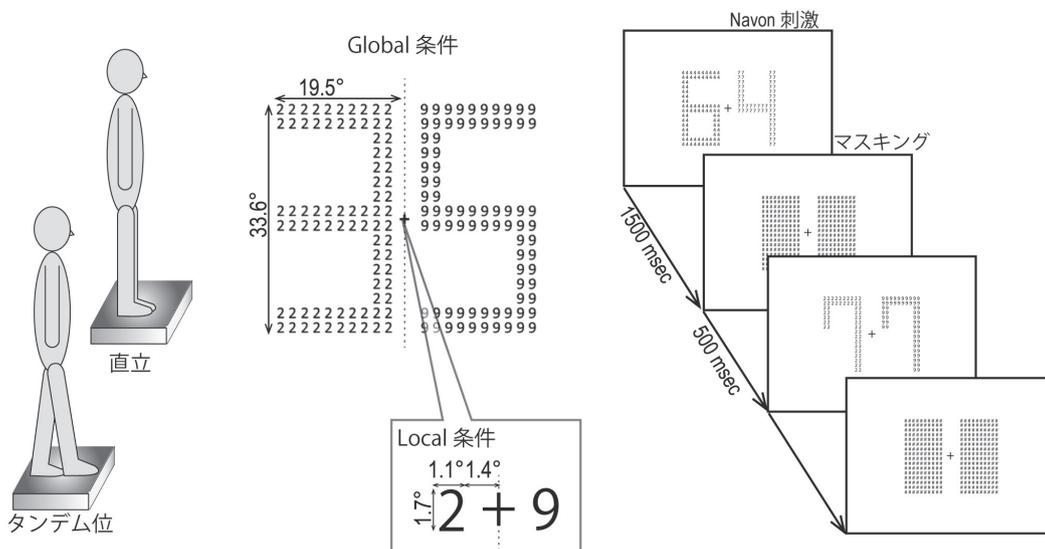


図1. 本研究における姿勢条件（左）、走査範囲条件（中央）および刺激呈示の手続き（右）

(2) 走査範囲条件

姿勢制御中の注意の走査範囲を操作するため、数字による Navon 刺激を作成し、それらを用いた計算課題を設定した (図 1 中央)。Local 刺激は 20mm (幅) × 30mm (高)、Global 条件は 330mm (幅) × 665mm (高) で呈示した。なお Global 刺激は Local 刺激を縦に 16 字、横に 10 字を配置することにより作成した。このとき注視点から Global 刺激の内側までを 1.4°, 外側までの 19.5° とした。

(3) 認知的負荷課題

課題は 2 つの数字を同時に提示し、その和が奇数であるか偶数であるかをボタン押しにて判断させる計算課題とした。Global 刺激または Local 刺激に注意を向けさせ、いずれかの数字について加法計算を行い、その和が奇数または偶数かをできるだけ早く判断するように求めた。このとき 1 試行を 2000msec とし、その内、Navon 刺激を 1500msec、マスキングを 500msec それぞれ呈示した。

4. 実験手続き

はじめに練習セッションを実施した。姿勢維持の練習として、開眼および閉眼にてタンデム立位を数分間実施した。その後、Navon 刺激による計算課題について説明した後、座位姿勢にて計算課題の練習を実施した。

本試行として 6 セッションの実験条件を実施した。各条件の測定時間は 90 秒とし、セッション間は少なくとも 120 秒以上の休憩時間を確保した。また 1 セッションにおいて測定開始後から 30 秒間は注視点のみ呈示し、30～90 秒の期間に Navon 刺激を呈示した。従って、1 セッションにつき 30 試行の計算課題を実施した。反応ボタンは、人差し指または中指にマジックテープでボタンを固定し、親指で反応するよう指示した。このとき、手の甲を外側に向け中指が軽く体側に触れるよう指示した。なお、統制条件では注視点のみを 90 秒間呈示し、それ以外は他の条件と同じ手続きにて測定を実施した。

5. 分析

各条件の 30～90 秒の区間を分析対象とし、重心軌跡動揺波形から総移動距離、包絡面積、X 偏差 (左右方向)、Y 偏差 (前後方向) を算出した。これらのデータについて条件毎に平均値および標準偏差または標準誤差をもとめた。さらに揺れの周波数特性を比較するため、左右方向と前後方向の時系列波形について

FFT 法による周波数解析を行い、条件毎に中心周波数を抽出した。これらの条件間の比較のため、統計分析ソフトウェア (SPSS Statistics, ver.25) を用いて 2 要因の反復測定分散分析を実施した。なお Mauchly の球面性検定により球面性仮定が成り立っていない場合は Greenhouse-Geisser の自由度補正を行った。主効果または交互作用が有意であった場合、Bonferroni の多重比較を実施した。以上の分析において有意水準 5% 未満を有意とした。

III. 結果

1. 注意の走査範囲と認知パフォーマンスへの影響

図 2 に正答平均反応時間を示した。姿勢による反応時間に違いは認められないが、Global 条件は Local 条件に比して遅延していることが分かる。姿勢条件 (2) × 走査範囲条件 (2) の反復測定分散分析の結果、姿勢の主効果および交互作用は有意でなかったが、走査範囲の主効果には有意な差が認められた ($F(1,17)=31.113, p<.001$)。

誤反応においても条件による違いが確認された。それぞれ Global 条件の直立は 6.2 ± 4.1 (回)、タンデムは 5.3 ± 4.2 (回)、Local 条件の直立で 3.4 ± 2.6 (回)、タンデム位で 3.4 ± 3.7 (回) であった。これらの平均誤答数について分散分析を行った結果、走査範囲の主効果に有意な差がみられた ($F(1,17)=7.341, p<.05$)。以上の結果は Local 条件に比べ Global 条件の方が認知的負荷が高いことを示している。

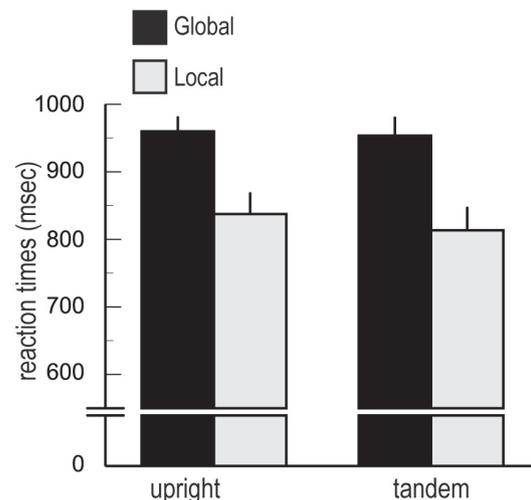


図 2. 姿勢および走査範囲条件による反応時間の比較。垂直線は標準誤差を示す。

2. 重心動揺振幅

表1に総移動距離、外周面積、左右および前後方向の偏差を示した。統制条件に比べ、計算課題遂行中の重心動揺振幅が減少していることがわかる。これらの結果について、姿勢条件(2)×走査範囲条件(3)の分散分析を行った。総移動距離については、姿勢の主効果($F(1,17)=92.730, p<.001$)、走査範囲の主効果($F(2,34)=10.785, p<.001$)が有意であった。また包絡面積においては、走査範囲の主効果($F(2,34)=9.839, p<.001$)が有意であった。総移動距離および外周面積においていずれも有意な交互作用が認められなかった。移動総距離および外周面積の走査範囲の主効果について多重比較を行った結果、統制条件に対してGlobal条件($p<.05$)およびLocal条件($p<.05$)との間に有意な差がみられた。

左右および前後の偏差ともに直立条件よりもタンデム条件の方が偏差の増大が認められる。また統制条件に比べNavon刺激による計算遂行中に偏差の減少が見られる。分散分析の結果、左右方向では姿勢の主効果($F(1,17)=29.273, p<.001$)、走査範囲の主効果($F(2,34)=18.074, p<.001$)、前後方向では走査範囲の主効果のみが有意であった($F(2,34)=12.995, p<.001$)。しかし有意な交互作用については認められなかった。各偏差の走査範囲の主効果について多重比較を行った結果、統制条件に対してGlobal条件($p<.05$)およびLocal条件($p<.05$)との間に有意な差がみられた。

3. 中心周波数

計算課題遂行中の中心周波数は、左右方向、前後方向ともに、統制条件に比べNavon刺激による計算遂行中に高周波帯域に変移していることがわかる(図3)。分散分析を行った結果、左右方向($F(2,34)=6.751, p<.01$)、前後方向($F(2,34)=5.793, p<.01$)

ともに走査範囲の主効果のみが有意であった。これらの結果について多重比較を行った結果、統制条件に対してGlobal条件($p<.001$)およびLocal条件($p<.001$)との間に有意差が認められた。

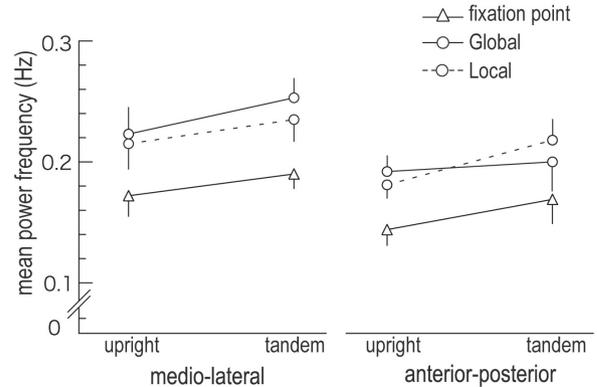


図3. 条件毎の中心周波数。左パネルは左右軸、右パネルは前後軸を示す。

IV. 考察

本研究は、注視点のみの統制条件に比べ認知的負荷を加えた場合に重心動揺振幅が減少し、揺れの高周波化が生じた。またLocal刺激に比べGlobal刺激による計算課題では、反応時間の遅延と誤答数の増加が生じたが、重心動揺振幅や中心周波数において差は認められなかった。

重心動揺は視線の走査範囲の拡張に影響されないようである。Local刺激と比べると、Global条件では刺激を認識するために半径20°~30°程度の視野で捉える必要があった。本研究にて呈示したGlobal刺激の認識には、中心視野のみへの持続的な注視では困難であり、中心視野を越えた範囲に視線を走査させることが求められる。それにも関わらず、注視点のみの統制

表1 姿勢および走査範囲条件による重心動揺振幅の比較

posture	upright			tandem		
	fixation point	Global	Local	fixation point	Global	Local
総移動距離 (mm)	203.3 (51.4)	181.9 (42.6)	176.3 (39.5)	357.8 (84.1)	311.7 (83.5)	310.1 (67.2)
外周面積 (mm ²)	48.1 (73.8)	15.9 (11.6)	13.0 (10.4)	55.2 (29.0)	32.4 (17.1)	31.4 (25.1)
X 偏差 (mm)	102.0 (28.9)	89.3 (27.4)	86.6 (25.6)	205.0 (54.7)	173.5 (52.7)	175.3 (36.0)
Y 偏差 (mm)	115.9 (33.6)	102.5 (24.2)	98.5 (25.7)	197.4 (54.5)	171.7 (51.7)	168.0 (51.7)

※括弧内は標準偏差

条件に比べ振幅の減少を示していたことから、視線の走査範囲の拡張／縮小は姿勢維持に外乱を与える直接的な要因とはならないことを示唆している。

認知課題の遂行が、姿勢の安定化を引き起こすという先行研究の報告と一致していた^{7,8)}。タンデム位は姿勢のコントロール自体も難しく、計算課題を負荷することにより多重課題となると想定されたが、その影響をほとんど受けなかった。タンデム位⁷⁾や腓腹筋への振動¹²⁾など姿勢維持が困難となる状況での認知的負荷は、重心動揺振幅を減少させることなどが報告されている。これらの知見は姿勢維持と認知的機能は互いに作用していることを示唆している。

認知課題遂行に伴って身体外部へ注意を向けることが、姿勢の安定化に貢献している可能性がある。例えば、不安定なボード上でバランスを維持する運動課題を行った場合、身体感覚に注意を向けるよりも前方の視対象への注意を向ける方が、安定的なバランスを維持することができる¹³⁾。前方方向への注意の捕捉は、中心視野の範囲に制限される必要はないかもしれない。本研究結果では、少なくとも視角 30° の範囲内であれば、姿勢の安定化を促す可能性がある。

また前方へ注意の捕捉が、重心動揺振幅の低周波帯域の揺れを抑制する。中心周波数の高周波帯域へ変移は、相対的に高周波数帯域の揺れ（小刻みな揺れ）を増幅させたか、低周波帯域の揺れを抑制させたことを反映する。 $0.1\sim 0.5\text{Hz}$ 帯域は体性感覚由来の揺れが相対的に多く含まれている¹⁾。認知的負荷は体性感覚など身体感覚から注意を反らし、結果として下肢の無自覚的な運動制御による姿勢維持を促進したかもしれない。

また姿勢制御は処理資源の増減の影響を受けにくいようである。Global 刺激の場合、反応時間の遅延と誤答数の増加が生じたことから、Global 刺激による計算課題は、Local 刺激に比べ多くの処理資源を要したと考えられる。特に Global 刺激の場合、中心視野を越えた範囲を含めて視線を素早く走査する必要がある。そのため同じ計算課題であっても相対的に認知的負荷が高くなりやすい。それにも関わらず、姿勢の安定化をもたらしたことは、処理資源の増減は姿勢制御にさほど影響しないといえる。この結果は、視覚刺激を用いた課題の難易度に関係なく重心動揺振幅の減少と高周波化をもたらすという報告⁸⁾と一致する。

その一方で、高齢者に同様の課題を行った場合、重心動揺振幅の増大（不安定化）が生じることが報告されている。転倒の経験がある高齢者に認知的負荷を与

えた場合、姿勢の不安定化を誘発することが報告されている^{14,15)}。姿勢維持機能に問題をもつ高齢者は、自動的な姿勢制御が適切に機能せず、姿勢維持に多くの処理資源を要している可能性がある。もともと高齢者は若年者に比べ処理資源に十分な余裕がなく、二重課題のような分割的注意を要する課題ではパフォーマンスの低下が生じやすい¹⁶⁾。故に、維持機能に不安のある高齢者では二重課題遂行時に十分な処理資源が確保できないため、姿勢の不安定化が生じると考えられている¹⁷⁾。

しかし処理資源の減衰が姿勢の不安定化を引き起こすという点については疑問が残る。前述したように、誤反応率から見ても Global 条件の課題の難易度は高いと想定され、多くの処理資源を要した状況であった。さらに課題遂行時にタンデム位のような難易度の高い姿勢維持を要求しても、顕著な不安定化は生じない。これらの実験データは、処理資源の減衰が姿勢の不安定化を引き起こす直接的な要因ではない可能性を示している。また予期不安など情動喚起を伴う事態では、若年者でも姿勢の不安定化が生じることから^{17,18)}、処理資源モデルから姿勢の安定／不安定を十分に説明できない。注意の機能がどのように姿勢制御に関与するのか更なる分析を要する。

V. まとめ

本研究は認知的負荷によって安定的な姿勢維持が誘発されることを示した。安定的な姿勢維持において、視線の走査範囲の変化や認知的課題に対する処理資源の増減の影響は極めて小さい。おそらく一定の範囲内（前方方向）へ注意の捕捉が、姿勢の安定化に貢献したと考えられる。その一方で情動的負荷は姿勢の不安定化を引き起こし、空間的注意の捕捉を妨害するよう作用することも指摘されている。今後は、認知的および情動的負荷が姿勢維持機能にどのような作用をもたらすのか議論するため、これまでと同様に処理資源の増減や視線の走査範囲の変数に着目し、視線計測や事象関連電位による分析から多角的に検討する必要がある。

VI. 謝辞

本研究は愛知学院大学心身科学部心理学科における平成30年度卒業研究の一環として収集したデータを再分析したものである。測定、分析等にご協力いただ

きました近田将之氏に厚く御礼申し上げます。

related changes in anxiety, attention focus, and postural control.
Psychological Research, 83, 445-458.

(最終版令和元年 12 月 26 日受理)

引用文献

- 1) Redfern, M. S., Furman, J.M., Jacob, R.G. (2007). Visually induced postural sway in anxiety disorders. *Journal of Anxiety Disorders*, 21, 704-716.
- 2) Redfern M.S., Yardlery, L., & Bronstein, A. M. (2001). Visual influences on balance. *Journal of Anxiety Disorders*, 15, 81-94.
- 3) Ohno, H. Wada, M., Saitoh, J., & Nagai, M. (2004). The effect of anxiety on postural control in humans depends on visual information processing. *Neuroscience Letters*, 364, 37-39.
- 4) 宇和伸明・金子寛彦・金次保明 (1999). 視差・視覚変化刺激観察時の重心動揺と奥行き運動知覚 映像情報メディア学会誌, 53, 1300-1307.
- 5) 石田 光男, 和田 万紀, 永井 正則 (2008). 視覚刺激時の重心動揺に及ぼす不安の影響 自律神経, 45, 196-199.
- 6) Daulta, M.C., Yardleyb, L., & Frankc, J. S. (2003). Does articulation contribute to modifications of postural control during dual-task paradigms? *Cognitive Brain Research* 16, 434-440.
- 7) 城野靖朋・金井秀作・後藤拓也・原田亮・藤高祐太・谷出康士・長谷川正哉・大塚彰 (2013). 運動課題と認知課題の二重課題干渉効果 ヘルスプロモーション理学療法研究, 3, 47-51.
- 8) Morioka, S, Hiyamizu, M, & Yagi, F. (2005). Effects of attentional demand tasks on standing posture Control. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 24(3),215-219.
- 9) Ikeda, M. & Takeuchi, T. (1975). Influence of foveal load on the functional visual field. *Perception & Psychophysics*, 18, 255-260.
- 10) Navon, D. (1977). Forest before trees - Precedence of global features in visual-perception. *Cognitive Psychology*, 9, 353-383.
- 11) Peirce, J. W. (2007). PsychoPy - Psychophysics software in Python. *Journal of Neuroscience Methods*, 162, 8-13.
- 12) Andersson, G., Hagman, J., Talianzadeh, R., Svedberg, A., & Larsen, H. C. (2002). Effect of cognitive load on postural control. *Brain Research Bulletin*, 58, 135-139.
- 13) Chiviacowsky, S., Wulfb, G., & Wallya, R. (2010). An external focus of attention enhances balance learning in older adults. *Gait & Posture*, 32, 572-575.
- 14) Woollacott, M., & Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait & posture*, 16, 1-14.
- 15) Shumway-Cook A, Woollacot M(2000) Attentional demands and postural control. *The Journals of Gerontology : Medical Sciences*. 55, 10-16.
- 16) 石松一真・三浦利章 (2008). 高齢者の視機能と視覚的注意 光学 37, 518-525.
- 17) Ishida M., Saitoh J., Wada M., & Nagai M. (2010). Effects of anticipatory anxiety and visual input on postural sway in an aversive situation. *Neuroscience Letters*, 474, 1-4.
- 18) Johnson, K. J., Zaback, M., Tokuno, C. D., Carpenter, M. G. & Adkin, A. L. (2019). Exploring the relationship between threat-

The effect of differences in the range of visual scanning on postural stabilization during cognitive load tasks using Navon stimuli.

Mitsuo ISHIDA

Abstract

The present study examines the effect of differences in visual scanning ranges (fixation point, global, and local) on postural sway during a cognitive task (mental arithmetic). The participants were eighteen volunteers without visual, motor, or any other central or peripheral dysfunction. The two Navon figures consisted of either a global (33.6° in height) or a local (1.7° in height) and were presented continuously on the screen in front of the participants. The participants were asked to stand on a force plate in upright or tandem stance and were asked to discriminate if the sum of the numbers presented was either odd or even. The center of pressure (COP), reaction time, and number of errors were measured for each condition. The findings show that the cognitive load using the Navon stimuli significantly reduced the amplitudes of postural sway (pathway length, enveloped areas, and root mean squares of medio-lateral and anterior-posterior axes) and increased the mean power frequency comparison to a fixation point test. Although the reaction times and the number of errors were higher in the global condition than those in the local condition, there were no differences in posture sway between the two Navon conditions. These findings could imply that the cognitive load resulted in increased postural stabilization independently of the differences in the range of visual scanning. Thus, it was concluded that the stabilization of posture in performing cognitive tasks was induced by attentional capture to visual stimuli positioned in front of the face.

Keywords: postural stabilization; cognitive load; range of visual scanning; Navon stimulus

