

VDT 作業における眼球運動の定量的解析

斉藤 隆, 青木 繁, 松野 彩子, 石川 哲

北里大学医学部眼科学教室

要 約

角膜の光学的反射を利用した眼球運動記録装置 (アイマークレコーダー®) を用い, VDT 作業の注視点の解析を行った. 被験者には VDT 作業に熟練した者と, VDT 作業をほとんど行っていない未熟な者 (初心者) を選び2群にわけた. 実験は, VDT 作業として日本語のワープロ作業を, 比較実験としてハードコピー作業 (日本語書き写し) を行い, 作業中の眼球運動を記録し分析した. その結果, 注視点は熟練者では CRT に集中し, 初心者ではキーボードに集中していた. 注視点の移動速度の分析では, 熟練者に比べ初心者の方が眼球を速く動かしており, VDT 作業に熟達するにつれ, 注視点の移動は遅く, かつ効率的に行われており, このことから, 熟練者と初心者では眼球運動系に大きな差がある事がわかった. VDT 作業では, 高頻度で水平系のみならず垂直系を含む複雑な眼球運動が認められ, ハードコピー作業では水平運動が中心であった. (日眼会誌 96: 1047-1054, 1992)

キーワード: VDT 作業, 眼球運動, アイマークレコーダー, 注視点, 熟練者

Quantitative Analysis of Eye Movement during VDT Work

Takashi Saito, Shigeru Aoki, Ayako Matsuno and Satoshi Ishikawa

Department of Ophthalmology, Kitasato University School of Medicine

Abstract

The point of fixation during visual display terminal (VDT) work was analyzed by using Eye Mark Recorder-NAC with their corneal reflexes. The subjects were categorized into 2 groups, expert VDT worker and non-expert with VDT work. As for the VDT task, Japanese sentences were loaded. On the other hand, ordinary desk work copying was loaded using the same Japanese sentences. The following results were obtained. VDT work needed more complex eye movements in both vertical and horizontal directions compared with desk work. The point of fixation was mainly located on the surface of the oscilloscope in the expert subjects, whereas, it was mainly located on the keyboard in non-expert subjects. In analyzing the velocity of eye movements during VDT work, the expert moved the eyes more slowly than the non-expert. These results suggested that the VDT experts can move their eyes more effectively and slowly. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 96: 1047-1054, 1992)

Key words: VDT work, Eye movement, Eye mark recorder, Fixation point, Expert

別刷請求先: 228 相模原市北里1-15-1 北里大学医学部眼科学教室 斉藤 隆

(平成3年12月27日受付, 平成4年3月18日改訂受理)

Reprint requests to: Takashi Saito, M.D. Department of Ophthalmology, Kitasato University School of Medicine, 1-15-1 Kitasato, Sagami-hara 228, Japan

(Received December 27, 1991 and accepted in revised form March 18, 1992)

I 緒 言

VDT 作業は, cathode ray tube (以下 CRT と略), キーボード及び書類を注視しながら激しい業務を短時間で能率よく行うものである。これらの業務は過去に行われていた一般のデスクワークよりも格段と大きく, かつ頻数の高い眼球運動が行われていなければ業務が遂行できない。VDT と眼球運動の研究は, 斉藤ら^{1)~3)}が角膜反射像を利用したアイカメラを用いて少ない症例で研究が行われている。今回, 新しいアイカメラを使用し, 5年以上の VDT 作業の経験を持つ熟練者と VDT 作業の経験がほとんどない初心者を選び, VDT 作業及び一般のハードコピー作業時における, 注視点の軌跡・停留時間・移動速度を分析したところ, 極めて興味ある結果が得られたのでここに報告する。

II 実験方法

1. 眼球運動記録装置

眼球運動測定に用いたアイマークレコーダー (EMR 600, Model V-915, NAC) の原理は, 被験者の眼前に置かれた赤外線発光ダイオードを光源としてできた角膜面の虚像を半導体テレビカメラで撮影し, 眼球運動の軌跡を得るものである。これは, 眼球の大きさに比べ角膜の曲率半径が小さく, 表面がスムーズであることを利用して, 鏡面反射により注視点の位置を検出するものである。本装置では, モニタテレビ上において背景の視野映像と注視点を重ねて見ることができる。注視点の座標はアナログ電圧に変換され, 眼球運動軌跡が記録される。これらのデータはデジタル信号としてコントローラーに送られる。同時に, 頭部の動きも視野映像内の規定走査線上にコード化され, アイマークデータと共に記録され静止画像系での眼球運動を記録できる。信号は VTR テープに録画して保存される。解析は, 保存したデータを VTR よりデータプロセスユニットに移し, パーソナルコンピュータ (PC 9801) にて行う。このシステムの性能は, 眼球運動の測定範囲が, 0 度~50 度までが linear に記録され, 最小読み取りが 0.17 度の分解能を持ち, 最高 600 ヘルツに至るまでの高速データサンプリングが可能である。実際の実験に用いたアイマークレコーダーのヘッドユニットの部分を図 1 に示す。

2. 対象

被験者は, 熟練した VDT 労働者 (以下 VDT と略)



図 1 アイマークレコーダーのヘッドユニットの部分を示す。

として作業歴が 5 年以上, 1 日平均 6 時間の作業を週 5 日間連続で行っている女子 7 名で, 年齢は 27~37 歳 (平均 29.5 歳) と, 対照として過去に VDT 作業をほとんど行っていない初心者, つまり non-VDT 労働者 (以下 non-VDT と略) であり, その内わけは男子 5 名, 女子 4 名 (計 9 名) で, 年齢は 24~39 歳 (平均 30 歳) である。視力は完全矯正下で 1.0 であった。

3. 測定方法

1) VDT 作業: ワードプロセッサ (PC 9801, 一太郎プログラム) を使用し, 眼科教科書より抜粋した日本文の入力・変換業務を行わせた。

2) ハードコピー作業: VDT 作業と同じ文の書き写し作業を行わせた。

測定は, すべての被験者に対し両眼同時に完全矯正下で行った。測定時間は 5 分間とし, 記録の安定した所を任意に 1 分間選択して分析した。VDT 作業時の原稿位置は, 被験者の左側に統一し, 眼から約 45 cm の距離に置いた。CRT も約 45 cm, キーボードは約 40 cm の距離に置いた。ハードコピー作業でも原稿は同様に置き, ノートは約 40 cm の距離に置いた。

4. 分析

眼球運動の分析は, 5 つのプログラム, ①停留点軌跡, ②停留時間分布, ③停留点時間頻度, ④移動速度の分布, ⑤移動ベクトルの方向分布について, VDT 作業とハードコピー作業を, VDT と non-VDT で比較検討した。有意差の判定は, T 検定により行った。プログラムで用いられている停留点とは, アイマークが一定範囲内に一定時間以上注視点が留まった時, この範囲の中心を停留点とし, 今回の実験では 10°範囲内に

—Word Processor—

—Hard copy—

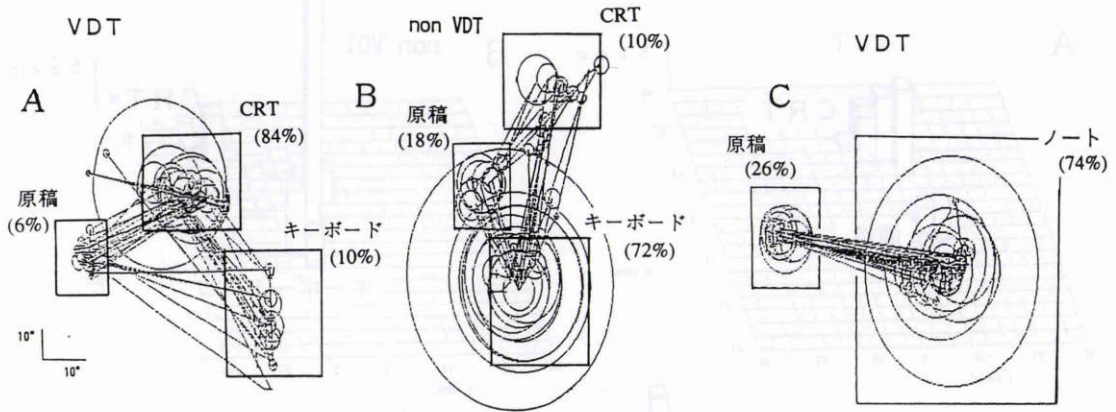


図2 停留点軌跡分布.

A: VDT 労働者の VDT 作業時, B: non-VDT 労働者の VDT 作業時, C: ハードコピー作業時の VDT 労働者の結果の一例を示す. アイマークの軌跡に重ねて, 停留時間の長さに応じた円形マークを表示した. 従って, 円形マークが大きい程, 停留時間が長いことを示す.

0.1 秒以上留まった時点を停留点とした. 移動ベクトルは第 1 の停留点から第 2 の停留点までの方向と距離とをベクトルで表現し, 移動速度は移動ベクトルの距離とそれに要した時間から求めた.

III 結 果

1. 停留点の軌跡とその分布 (図 2)

VDT 作業時の, 27 歳女子の VDT (図 2 A) 及び 30 歳男子の non-VDT (図 2 B) の眼球運動の注視点と停留時間の長短を円で示した. 両図を比べると明らかに, VDT は主に CRT (84%) を見ている事が大きな円から明らかに示されている. これに反して non-VDT では注視点の停留時間はキーボード (72%) の上に留まる時間が圧倒的に多い. ハードコピー作業時 (図 2 C) の停留点軌跡分布は, 基本的に VDT 及び non-VDT で差を認めなかった. 一例として, 27 歳女子 (VDT) のハードコピー作業の停留点軌跡分布を図 2 C に示した. 主に記録用ノートを見ることに時間が費やされ (74%), 原稿を見ている時間は僅かであった (26%).

2. 停留時間の分析 (図 3)

図 2 の被験者の停留点軌跡図より停留時間を抽出して図化した結果を図 3 A (VDT), 図 3 B (non-VDT) 及び図 3 C (VDT のハードコピー作業) に示した. VDT では 1 分間のうち 50 秒が CRT 注視に使われ,

原稿には 4 秒が使われている. これに対して non-VDT では 43 秒がキーボード注視に使われ, 僅か 6 秒が CRT 注視に使われている. 両者の差は極めて明らかである. ハードコピー作業においては, 両者の差は殆ど認められず, 図 3 C に VDT の停留時間の分析結果を示した.

3. 停留点時間頻度 (図 4)

VDT 作業とハードコピー作業において, 注視点がいかなる時間, いかなる頻度で現れるかを図 4 A (上下) に示した. 被験者は 27 歳の女子で VDT 労働者である. VDT 作業では 2 秒以下の停留点時間頻度が圧倒的に高く, ハードコピー作業では停留点時間が広く分布している. 総ての被験者の停留時間の平均値の比較 (図 4 B) でも, VDT 作業はハードコピー作業に比べて有意に短い. この事は, VDT 作業では眼球が激しく動き, しかも短い時間しかとどまっていない事を示す. VDT と non-VDT の比較では, 停留時間に有意な差を認めなかった.

4. 移動速度の分布 (図 5, 6)

VDT 作業時の, VDT (図 5 A 上) 及び non-VDT (図 5 A 下) の注視点の移動の速度と頻度を示した. この図は, 27 歳の女子 (VDT) と 30 歳の男子 (non-VDT) とを比較したものである. VDT では, 200 (度/秒) 以下の移動速度の頻度が高く, non-VDT では 100~500 度/秒に至るまで広く分布している. 総ての VDT と

—Word Processor—

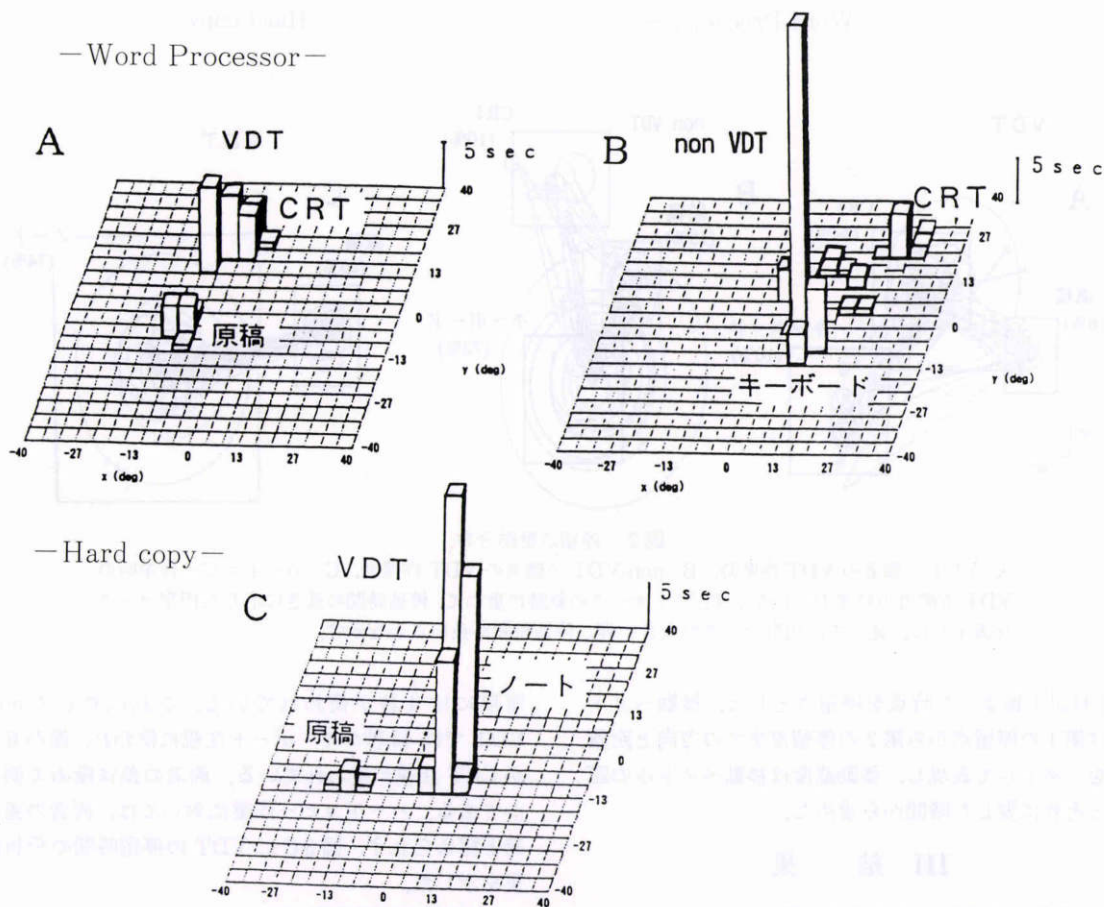


図3 停留時間分布.

A: VDT 労働者の VDT 作業時, B: non-VDT 労働者の VDT 作業時, C: ハードコピー作業時の VDT 労働者の結果の一例を示す. メッシュの山の高さが高いほど, 停留時間が長いことを示す, 図中の x (deg): 水平方向, y (deg): 垂直方向は, 視線移動の範囲を第一眼位 ($x=0$ deg, $y=0$ deg) を中心に表す.

non-VDT の移動速度の平均値の比較 (図 5 B) でも, VDT は non-VDT に比べて有意に移動速度が遅く, このことは VDT が効率的に作業を行っていることを示している. この結果を更に細かく移動速度の頻度の分布 (図 6) で検討してみた. non-VDT は VDT に比べ $0 \sim 125$ 度/秒の移動速度の頻度が少なく, 125 度/秒以上の頻度が多かった.

5. 移動ベクトルの方向分布 (図 7)

VDT 作業とハードコピー作業における, 注視点の移動 (移動ベクトルの方向) と頻度を図 7 に示した. 図は視野全体を 15° 毎に分割し, 注視方向の頻度に対応した大きさのベクトルで表している. 被験者は 27 歳の女子で VDT 労働者である. VDT 作業では, 垂直行

向 ($45^\circ \sim 90^\circ \sim 135^\circ$, $225^\circ \sim 270^\circ \sim 315^\circ$) への眼球運動を高頻度に認めた. ハードコピー作業では, 水平方向 ($315^\circ \sim 0^\circ \sim 45^\circ$, $135^\circ \sim 180^\circ \sim 225^\circ$) への眼球運動を高頻度に認めた.

IV 考 按

VDT 作業における眼精疲労の検査法として多面からのアプローチが行われている. しかし, ほとんどの研究は作業負荷前後で調節, 瞳孔および屈折などを比較し, 作業負荷による疲労や生ずる視機能の機能的異常を分布することを主眼としている^{4)~7)}. 眼球運動検査は他覚的検査法であるが, 比較的研究は少ない. VDT 作業のように繊細な眼球運動が使われる作業に

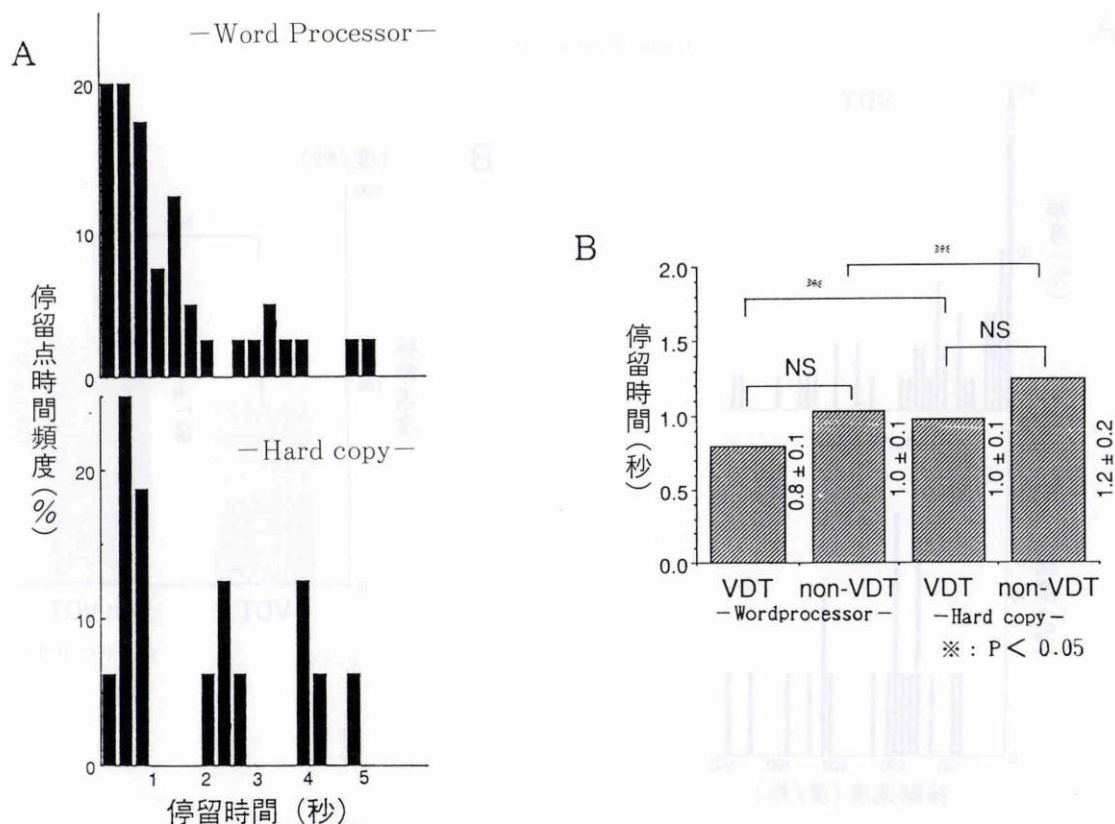


図4 A: VDT 作業時(上)とハードコピー作業時(下)における停留点時間頻度の一例を示す。

B: 総ての被験者, VDT 作業時とハードコピー作業時における停留点時間の平均値と標準偏差を示す。

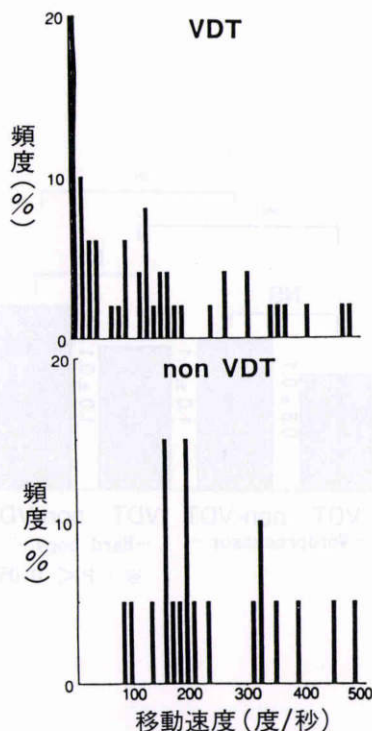
においては過去の研究^{6)~13)}のごとく振幅の大きな眼球運動検査法ではその異常をつかまえることは難しいと考えられる。さらに、作業中の眼球運動を直接記録していくことは必ずしも容易ではない。今回使用したアイマークレコーダーは、これらの困難を克服し、実際の使用に耐えるものであり、VDT 作業時の眼球運動の解析には十分と思われる。今回の分析では、VDT 作業における注視点の記録を目的としたため、停留点設定を10度範囲内とした。その結果、CRT・原稿・キーボード間の大きな動きは十分解析できた。実際のVDT 作業では、キーボード上でのキー探し、CRT または原稿上での文字探し操作などもあるが、今回の分析ではこのレベルでの解析は行わなかった。

停留点軌跡、停留時間分布の分析では、熟練者は主にCRT を見ているのに対し、初心者は主にキーボードを見ていた。熟練者においては、過去の報告³⁾では作業時の注視点はCRT が64%、キーボードが21%、原

稿が14%を注視しているとされるが、今回のデータではCRT が84%、キーボードが10%、原稿が6%と若干の差を認めた。より以上のCRT への注視が、眼精疲労につながる可能性もある。初心者はこの逆で、CRT が10%、キーボードが72%、原稿が18%で、ほとんどがキーボードのキー探しに使われており、両者の技術による差が他覚的に検出できた。しかも、注視点が色々な所に散在して認められることは、初心者の方が眼精疲労を訴えるのは当然であり、入社して直ちにVDT 業務を始めると眼精疲労を多く訴える症例が多いことはこのことによる可能性がある。斉藤³⁾はVDT 作業時の姿勢についても述べているが、停留点の分布の違いは、作業時の視線が熟練者は上方(CRT)に、初心者は下方(キーボード)に位置することになる。また、VDT 作業がCRT・原稿・キーボードの3点を絶えず移動する眼球運動によって行われているにもかかわらず、熟練者の注視点はCRT・キーボードに集中し、あ

A

—Word Processor—



B

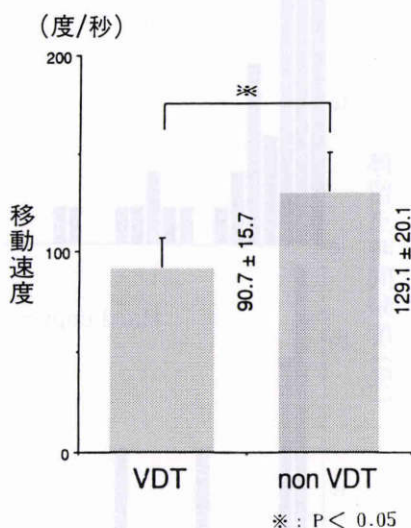


図5 A: VDT作業時の、VDT労働者(上)とnon-VDT労働者(下)の移動速度の分布の一例を示す。B: 総ての被験者の、VDT作業時とハードコピー作業時における移動速度の平均値と標準偏差を示す。

たかも2点間の動きであるハードコピー作業と同じようにみえた。熟練者と初心者の注視点の分布領域や方向の違いが、眼球運動の頻度や速度に影響を与え、眼精疲労の原因になると考えられる。

VDT作業における眼球運動の頻度に関しては、斉藤¹⁾により、VDT作業時の視線移動の平均的振幅と時間頻度が他の視覚作業(本の書き写し、読書、TV鑑賞等)に比べ共に高い値で行われており、VDT作業の視線移動の空間的拡がりが大きき事が報告されている。今回の実験においても、停留時間の分析より、VDT作業ではハードコピー作業に比べて2秒以下の停留時間が多く、全体の平均値の比較でも有意な差を認めた。VDT作業ではハードコピー作業に比べ、頻繁な眼球運動が行われていることを示している。この結果は、VDT作業では近い視距離にCRT・原稿・キーボードが拡がり、原稿とノートだけのハードコピー作業に比べ、注視点の視線移動が増大するために生じたものと

考える。全体的な停留時間の分析では、熟練者と初心者の比較で両者に有意な差を認めなかった。この理由は、注視点分布はまったく異なるが、両者共に注視点1か所に集中(熟練者はCRT、初心者はキーボード)したためと考えられる。

移動速度の分析では、初心者の方が熟練者に比べ、有意に眼球運動の移動速度が速かった。この結果は、初心者では、文字を読む場合の眼球運動速度¹⁾にはほぼ一致していると考えられる0から125度/秒の細かい動きが少なく、原稿の行変えやキーボード上でのキー探し、CRT・原稿・キーボード間の移動時の眼球運動速度と思われる125度/秒以上の大きな動きが多いためと考えられる。このことも、両者の技術的な差によるものと思われる。従って同じ作業量では、VDT業務のエキスパートの方が、初心者よりも効率的に注視作業が行われている。

移動ベクトルの分析の結果、VDT作業では、垂直行

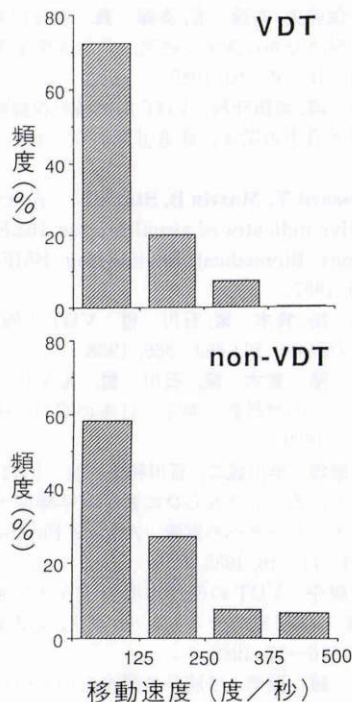


図6 VDT作業時における、総てのVDT労働者と総てのnon-VDT労働者の移動速度の分布領域を示す。

向への眼球運動の頻度が非常に高く、ハードコピー作業では、水平方向の運動頻度が高いことを認めた(図7)。VDT作業では、ハードコピー作業と異なり、視点の対象が垂直あるいは斜め方向に位置し、更にスク

ロールなどに伴う垂直方向への眼球運動が加わり、そのために、垂直方向への眼球運動の頻度が非常に高くなる。著者ら¹⁴⁾¹⁵⁾はVDT作業の前後での固視微動(microsaccade)の変化を分析し、VDT作業負荷によって固視微動の頻度、振幅の増大を特に垂直方向の成分に強く認められることを別な方法で報告した。この垂直方向の変化に伴う視線の不安定化が、眼精疲労を惹起している可能性もある。

VDT作業における眼精疲労の程度や内容は、個人により様々に異なる。今回の分析結果から、同じVDT作業においても作業者の熟練度により注視点の動きが大きく異なることがわかった。また、原稿の位置や種類、CRT・原稿・キーボードの配置や作業者との距離、照明などの作業環境^{10)16)~18)}などの変化により異なった結果が生じることも考えられる。このような僅かな作業条件の設定の違いにより、眼球運動系だけでも作業者には異なった負担がかかっていると考えられる。更に実際のVDT作業は、調節をはじめとする眼球運動系以外の視機能にも影響を与えており、このことが様々な眼精疲労の訴えを生じ、VDT作業の特殊性を導く一因となると考えた。

文 献

- 1) 斉藤 進：眼理運動解析によるVDT作業の定量的評価、日本の眼科 58: 859-862, 1987.
- 2) 斉藤 進：眼球運動の生理的限界とVDT作業の定量化、日本の眼科 59: 867-870, 1987.
- 3) 斉藤 進：VDTとHMIに関する視覚エルゴノ

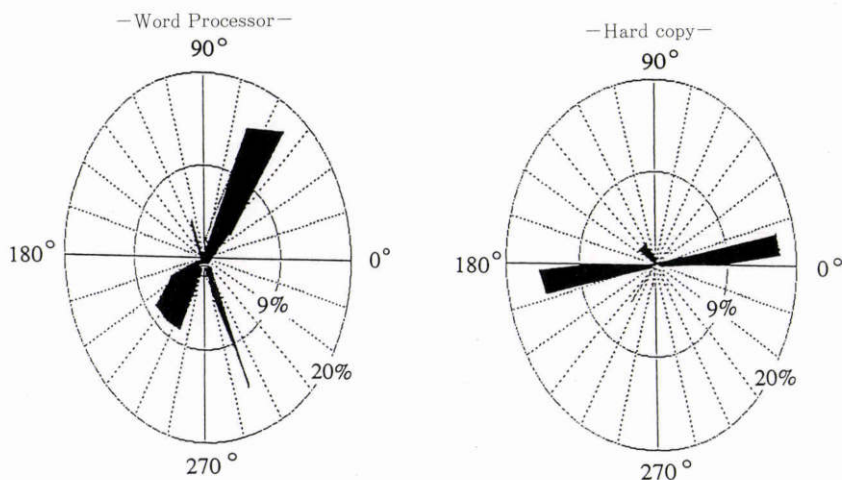


図7 VDT作業時とハードコピー作業時における、移動ベクトルの方向分布の一例を示す。全体を15°毎に分割し、頻度に対応した大きさのベクトルを図化している。

- ミクス, 日本の眼科 60: 779—781, 1987.
- 4) **Ishikawa S**: Examination of the near triad in VDU operators. *Ergonomics* 33: 787—798, 1990.
 - 5) 土屋邦彦, 青木 繁, 石川 哲, 他: VDT 作業による調節安静位の変動と自律神経機能について, 日本の眼科 61: 1322—1324, 1990.
 - 6) **Daum KM, Good G, Tijerina L**: Symptoms in video display terminal operators and the presence of small refractive errors. *J Amer Optometric Assoc* 59: 691—697, 1988.
 - 7) 伊比健児, 齊藤 進, 八木沼康之: 調節機能に及ぼす乱視の影響についての実験的研究, 日眼会誌 93: 28—34, 1989.
 - 8) **Tyrrell RA, Leibowitz HW**: The relation of vergence effort to reports of visual fatigue following prolonged near work. *Human Factors* 32: 341—357, 1990.
 - 9) 栗本晋二, 野呂影勇, 松岡成明, 他: 計算機対話型作業における労働適応能力—VDT オペレーターの視覚特性としてみた眼球運動—, 産業医科大学雑誌 8: 247—252, 1986.
 - 10) **Wilkins A**: Intermittent illumination from visual display units and fluorescent lightings affects movements of the eyes across text. *Human Factors* 28: 75—81, 1986.
 - 11) 大久保亮夫, 齊藤 進, 齊藤 真: 視覚作業における注視点分布に関する研究, 日本大学生産工学部報告 18: 55—63, 1985.
 - 12) 佐藤 清, 池田守利: VDT 作業時の視線配分比率と視覚負担の関係, 鉄道労働科学 40: 19—26, 1986.
 - 13) **Goussard Y, Martin B, Stark L**: A new quantitative indicator of visual fatigue. *IEEE Transactions Biomedical Engineering BME-34*: 23—29, 1987.
 - 14) 齊藤 隆, 青木 繁, 石川 哲: VDT と固視微動, 日本の眼科 59: 863—866, 1988.
 - 15) 齊藤 隆, 青木 繁, 石川 哲: X-Y トラッカーを用いた固視微動の測定, 日本の眼科 60: 775—778, 1989.
 - 16) 山本敏雄, 早川誠二, 石川和夫, 他: VDT 作業空間におけるグレアならびに表示文字輝度と周辺照度のオペレータへの影響, *Annals Physiol Anthropol* 4: 11—16, 1985.
 - 17) 成定康平: VDT の使用環境のパラメータ, 石川 哲 編: VDT 医学マニュアル, 東京, 全日本病院出版会, 16—17, 1989.
 - 18) 高橋 誠: 姿勢・手腕系の調査といくつかの問題点, VDT 労働研究会編: VDT 労働と健康, 東京, 労働基準調査会, 75—80, 1987.

