

パーソナルコンピュータによる DVA 動体視力測定法と有効性

A new measuring method of Dynamic Visual Acuity using the personal computer and its validity

石垣 尚 男 * 吉 井 泉 ** 酒 井 剛 史 ***

Hisao Ishigaki Izumi Yoshii Tuyoshi Sakai

Summary

The measuring method of DVA (Dynamic Visual Acuity) using the personal computer was developed, and some experiments were performed, and the validity of a measuring method was investigated. The main results are as follows.

1. The result of this measuring method had very as high correlation ($r = 0.851$) as the result of the existing measuring method (HI-10). Therefore, it was thought that it was an effective measuring method.
2. It is because the result measured by HI-10 and the result which was very alike were obtained as the reason.
 - 1) In a schoolchild, DVA is development process and becomes a peak at the 20 years-old time. Then, it falls gradually as it grows older.
 - 2) DVA of males were excelled than females in almost all age.
 - 3) DVA of the vertical direction was worse than DVA of the right-and-left direction.
 - 4) DVA of athletes were superior than nonathletes.

1. 研究目的

動体視力は動くものを明視する視覚能力と定義される。しかし、研究の当初から欧米と日本では対象をどの方向に動かすかという点が異なり、相互の関連性のない研究経緯をたどってきた。欧米、とくにアメリカでは対象を被検者から一定の距離を水平に動かし、対象を眼球運動のみで追跡、識別する方法¹⁾を採用し、これを DVA (Dynamic Visual Acuity, 以下、DVA) と名づけた。アメリカでの DVA 研究は半世紀前から始まっている。

一方、日本では鈴木²⁾が、遠方より眼前に直進してくる対象を明視する能力を動体視力とし、これを KVA

(Kinetic Visual Acuity) と名づけ、研究をすすめてきた。このため日本では DVA の研究に遅れをとり、研究が始まったのは 1990 年代に入ってからのものである。

Ishigaki らは DVA 動体視力計を自作し³⁾、DVA の加齢影響と性差⁴⁾、スポーツ選手の DVA⁵⁾、高齢者の DVA と体力や生活状況などの関係⁶⁾を調べた。また、同装置を使って DVA のトレーニング効果^{7)、8)}や、DVA の主たる構成要因である眼球運動との関係⁹⁾が研究されている。

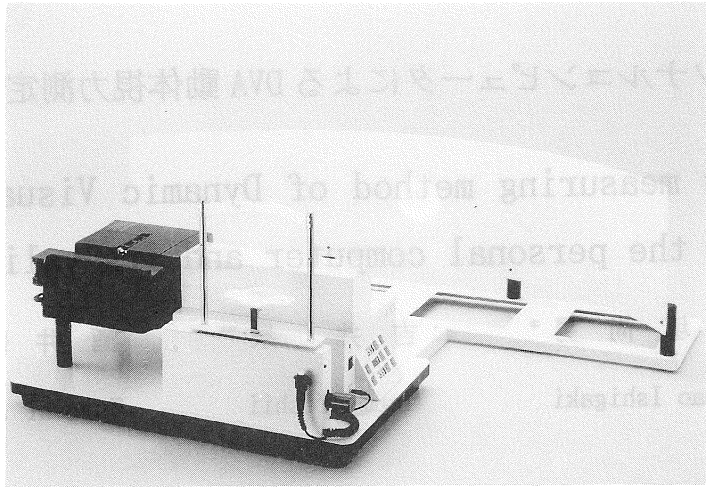
(株) KOWA は Ishigaki ら³⁾の考案した DVA 動体視力計のコンセプトに基づき DVA 測定装置を作成し 1998 年より市販を始めた (製品名: 横方向動体視力計 HI-10 写真)。これにより日本での統一的な DVA の測定が可能となった。

DVA が人の持つ多様な視覚機能の一つであり、動くものを識別する能力を的確に表すことが明らかになるにつれ、誰でもどこでも手軽に DVA を測定できることが望まれるようになった。しかし、標準化された DVA 動

* 愛知工業大学基礎教育系

** 大阪府立大学 (大阪府堺市)

***愛知工業大学情報通信工学科大学院



横方向動体視力計 HI-10

体視力計（以下、HI-10）が発売されたとはいえ、高価であり、また設置に場所をとるなどの点で誰でもが DVA を測定し自己の能力を知ることは現状では困難である。

そこで我々は手軽に測定できるデバイスとしてパーソナルコンピュータに着目し、モニタ上に 1 桁の数字を動かす、数字の識別を DVA のパラメータとするソフトウェア（以下、DVA ソフト）を開発した。ソフトウェアのコンセプトとそれにより得られた結果を報告し、測定法の有効性について検討する。

2. DVA ソフトの開発コンセプト

1) 汎用性の高い MS-Windows95 または 98 で稼働
手軽にパーソナルコンピュータで測定するためには汎用性の高い OS およびモニタが必要である。現在、もっとも汎用性の高い MS-Windows95 または 98 の OS で稼働し、モニタのサイズは汎用性のあるサイズで最大である 17 インチで表示する仕様とした。

2) 1 桁の数字を視標とし、3 つ提示した

図 1 のようにモニタの上下左右の 4 カ所のいずれかより、1 桁の数字が移動し、この数字は移動中に 2 回変化する（図では左→右へ 4, 5, 8）。被検者は 3 つの数字を回答する。視標（数字）を正確に追跡できれば 3 つの数字は正しく識別できる。1 桁の数字としたのは幼児から高齢者までのどの年齢にもわかりやすいこと、およびキーボードのテンキーで回答を入力できるようにしたためである。

3 つ提示したのは、1 つの数字が移動するだけでは難易度が低すぎ測定結果に差が出にくいという点、また、これにより被検者の特性を調べることも考慮したためである。たとえば、最初（1 個目）は識別できてその後できなくなるのか、最初は識別できないが途中で

らわかるのかなどの特性が明らかになると思われたためである。さらに 3 個が被検者の記憶力に関係しない限界と考え、これらを総合して設定した。

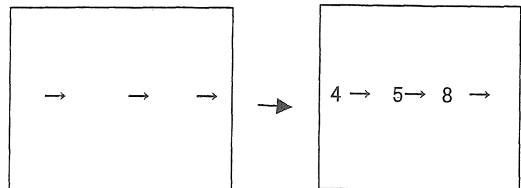


図 1 移動方向が出たのち、3 個の数字が提示される

3) 跳躍眼球運動が必要な視標速度とした

HI-10 での視標移動速度は 480 度/秒～180 度/秒の範囲が使われている。HI-10 では視標サイズが大きいのでこのような高速移動が必要である。しかし、パーソナルコンピュータではモニタ画面の大きさ、画像提示時間、移動速度、フォントには限界がある。当ソフトでは視標速度を 60 度/秒とした。

この理由として高速で動く視標を追跡する場合には跳躍的な眼球運動（Saccadic eye movement）が起きることが明らかにされているので、当ソフトにおいても跳躍性の眼球運動の起きる速度を考慮した。その場合、追従眼球運動（Pursuit eye movement）のみで視標を追跡できる限界は 5 度/秒とされている¹⁰⁾が、30 度/秒でも追従眼球運動できるという知見¹¹⁾から、30 度/秒以上の速度があり、かつ Dynamic な動きの印象、およびパーソナルコンピュータの表示特性などを総合的に考慮して設定したものである。

4) 視標移動を広範囲とした

モニタから 32cm の距離にアゴ台に置き、眼球運動のみで視標を追跡するようにした。視距離を 32cm とした

のは可能な限りモニタに近づくことにより視標の移動範囲(視角)を長くするためである。数字の大きさはモニタ上で縦 6mm, 横 5mm であり, 視角で約 1 度に相当する。この距離では老視により数字が見にくい場合がありうるが, 眼鏡などを使用することでクリアできると考えられる。この視距離ではモニタ上での視標の移動距離は視角で約 40 度である。約 40 度を 60 度/秒で移動するので, モニタ上に視標が提示されている時間は 0.67 秒である。したがって 1 個の数字が提示されている時間は約 0.22 秒である。

5) 移動方向を選択できるようにした

パソコンで測定するメリットは視標の移動方向を自由に設定できることである。この DVA ソフトでは左右 2 方向, 上下左右 4 方向, 斜め方向もくわえた 8 方向を作成し, 目的によって選択できるようにした。

3. 測定手順

1) 被検者データ入力

「名前」「年齢」「性別」をキーボードから入力する。

2) 練習

被検者に測定内容を理解させるため, 最初に 5 回の練習を行う。モニタに図 1 の矢印を提示し, どの方向へ数字が移動するかを事前に知らせる。練習 1 回目は速度を極端に落とし, 被検者に途中で数字が 2 回変化するなどの測定内容を理解させる。練習が進むにつれて徐々に速度を上げていく。練習段階では回答の正否が被検者にわかるようにモニタに結果が即座に表示され, 被検者に測定内容が理解できるようになっている。

3) 本測定

左右方向のみの場合には各方向 10 回, 計 20 回, 上下左右 4 方向の場合には各方向 10 回ずつ行う。8 方向の場合には各方向 5 回ずつ, 計 40 回行う。提示する数字は事前に定めておき, 被検者間で数字による有利不利がないようにしている。また, 「7」「7」「7」や, 「8」「8」「5」, 「3」「6」「6」など 2 個以上連続して同じ数字が出ることはない。

被検者はモニタ上の指定されたワクに「0」～「9」をキーボードのテンキーから入力する。わからなかった場合には「。」を入力する。キーボードに不慣れな被検者には口答で回答させ, 検者が入力する。本測定では回答の正否はその都度表示しない。回答は自動的にテキストファイルとしてフォルダに格納され一般的な表計算ソフトなどを用いて解析することができる。

4) 評価

自動的に以下のデータが記録される(左右方向の場合)

(1) 得点

2 方向×10 回×3 カ所(3 個)=60 個の数字が提示されるので, すべて正答すれば 60 点である。本報告では DVA ソフトのパラメータとして得点を採用し

た。

(2) パーフェクト数

1 回に 3 個の数字が提示されるので 3 個とも正答した数である。左右方向の場合 20 点である。

(3) 箇所の正答数

箇所 1 - 最初に出現した視標の正答数(/ 20 点)
 箇所 2 - 中間に出現した視標の正答数(/ 20 点)
 箇所 3 - 最後に出現した視標の正答数(/ 20 点)
 たとえば箇所 1 が高い場合には最初が識別できていること, 箇所 3 が高い場合には最初は識別できないが最後ができていないことを表す。4 方向, 8 方向でも同様の評価をする

4. 結果と考察

1) HI-10 との相関

(株) KOWA の横方向動体視力計 HI-10 と DVA ソフトの相関性を調べた。被検者は 16~91 才までの男性 79 名, 女性 59 名, 計 138 名である。HI-10 の測定は視標サイズが視力値で 0.025 に相当するランドルト環を 40 回転/分から自動的に減速し, 識別できた回転数をパラメータとする標準的な測定法で行った。5 回測定し, 平均値を用いた。

DVA ソフトでは左右方向のみを測定した。老視によりモニタの数字が識別できない被検者には老眼鏡を使用させ, 練習段階で視標が識別できていることを確認した上で測定をおこなった。

図 2 は HI-10 と DVA ソフトの相関である。HI-10 では視標は左から右へ移動するため, DVA ソフトでも左から右へ移動する場合のみを比較した。パラメータとして識別できた数字の総数(1 方向×3 カ所=30 点満点)を採用した。

両測定法には 0.851 (p<.001) の有意な高い相関があった。この結果は HI-10 による結果がよい被検者は DVA ソフトもよいという関係を示すものであり, DVA ソフトによる測定は現行の HI-10 と類似な評価が可能であることを示唆する結果となった。

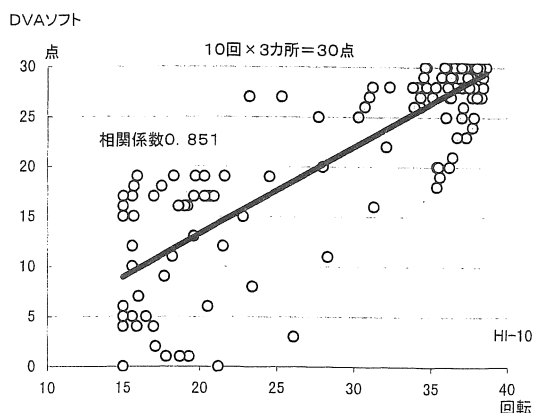


図2 DVAソフトとHI-10の相関

2) DVA の発達と加齢影響

Ishigaki ら⁴⁾ は HI-10 を用いて 5 才から 91 才までの 826 名の DVA を調べ, DVA は 5 才から 10 才までに急速に発達し 15~20 才でピークに達し, その後加齢とともに徐々に低下すること, また DVA には性差があり男性の方がすぐれていることを明らかにしている.

DVA ソフトによる測定で同様の発達と加齢影響がみられるかを目的とした. 被検者は 7 才から 91 才までの男性 142 名, 女性 131 名, 計 273 名である. これには実験 1 の被検者も含まれる. 左右方向のみを測定し, 左右方向を込みにして 60 点満点で評価した.

図 3 は全員の得点である. 7 才~12 才の小学生の個人差が大きく, 20 才に近づくにしたがい得点が高くなるとともに個人差が減少している. また, 40 才頃より DVA は徐々に低下し, 65 才以上の高齢者では小学生より低くなっている.

図 4 はこれを 12 才以下 (小学生期 96 名), 18~30 才 (青年期 105 名), 40~64 才 (中年期 31 名), 65

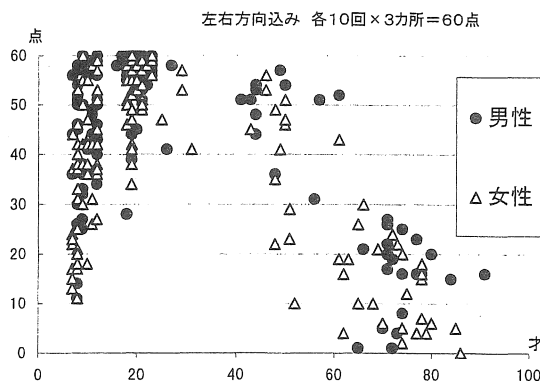


図 3 7才~91才までの得点

才以上 (高齢者 41 名) の 4 つに区分し, それぞれの区分による差と性差をみたものである. 一元配置分散分析の結果グループ間が 1%水準で有意であった. 下位検定の結果, 図中に有意な差があった.

この区分では DVA は小学生ではまだ発達過程であり, 18~30 才の青年期でピークとなり, その後, 高齢期に向かって徐々に低下していくことを示唆している. 小学生では青年期の約 70%の能力である. また中年期の値は小学生とほぼ同様である

さらに高齢期を除いて, 各年齢区分で男性の方が女性より有意に DVA がすぐれており, DVA には性差があることも示唆している. これらの結果は Ishigaki ら⁴⁾ の結果とほぼ同様の傾向であり, Ishigaki ら⁴⁾ の結果を追認するとともに DVA ソフトの有効性を示す証拠となるものである.

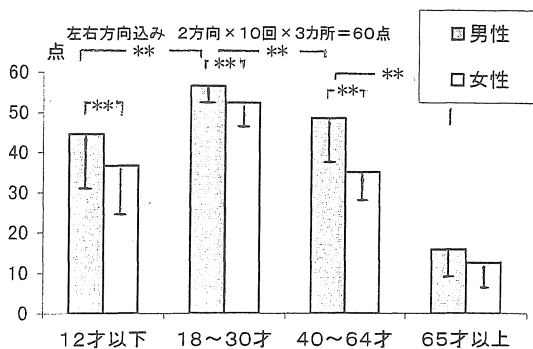


図 4 各年齢区分の得点と性差

** p<0.1

3) 視標識別率の特徴

図 5 は 1 個目, 2 個目, 3 個目ごとの識別率を被検者の年齢区分で表したものである. たとえば 18~30 才では 1 個目の数字は 93%識別できているが, 2 個目, 3 個目の数字の識別は 60%に低下している.

このような視点でみると 12 才以下の小学生と 40~64 才の中年期では傾向がまったく同じである. 1 個目の識別はともに約 80%, 2 個目が 40%に低下し 3 個目では 37%である. 一方, 65 才以上の高齢者では 1 個目が 55%であるが, 2 個目ではわずかに

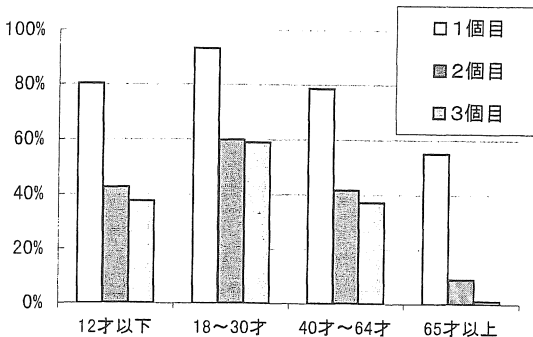


図 5 各箇所の識別率

9%, 3 個目では 1%しか識別できず, 2 個目以降はほとんど識別できないことがわかる.

数字が何であるかが識別できるためには数字を網膜中心窩, あるいは網膜傍中心窩でとらえなければならない. 高齢者が 2 個目, 3 個目をほとんど識別できないのは眼球運動が視標の動きに追従できないためであると考えられる. このようにみると青年期にもっとも眼球運動の速度と正確性に優れていて, 小学生は眼球運動の発達過程, 中年期以降は減弱過程であることが推測される.

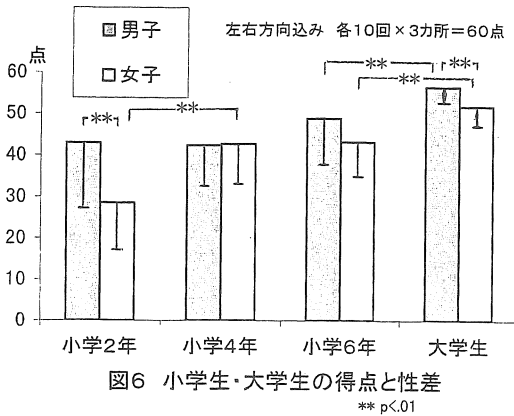
4) DVA の発達過程

12 才以下の小学生では DVA は発達過程にあると推測されるが, この期間を学年別, 男女別にみても

のが図6である。一元配置分散分析の結果グループ間が1%水準で有意であった。下位検定の結果、図中に有意な差があった。

男子では小学生の間では差がなかったが、小学6年生と大学生では有意な差があった。女子では小学2年と4年に有意な差があり、学年が上がるに従い向上する傾向があった。男子と同様、大学生との間には有意な差があった。また、小学2年の男女と大学生の男女には有意な性差があり、ともに男子の方がすぐれていた。

したがって、全体としてみると小学生期では学年が上がるに従い DVA は向上するが小学6年ではまだ成人のレベルには達していないこと、性差があり男子の方がよいと考えられる。

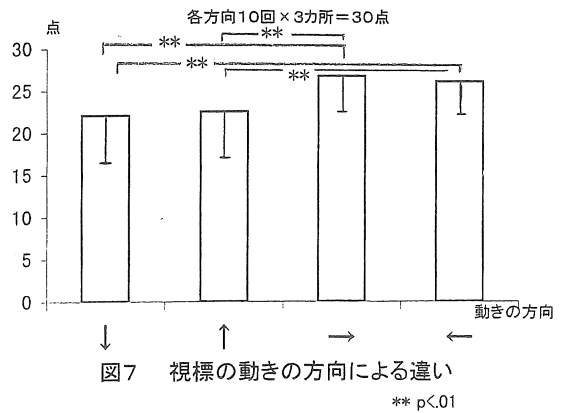


5) 上下方向の DVA

DVA が視標の動きの方向により違いがあるかは興味があるところである。正化ら¹²⁾は、HI-10 の前で被検者がベットに側臥することにより、視標が上下方向に動いて見えるようにした条件下で、上下方向の DVA を測定している。その結果、上下の動きに対する DVA は左右に比較して悪いこと、外国人は日本人に較べて上下方向が悪いこと、バレーボール選手は一般人に較べて上下方向の DVA がよいことなどを報告している。

16才~61才の男女93名(男性59名,女性34名)で上下左右の4つの方向の DVA を測定したものが図7である。一元配置分散分析の結果グループ間が1%水準で有意であった。下位検定の結果、図中に有意な差があった。

左右方向に較べて上下方向の DVA は有意に悪いことがわかる。おおむね左右方向の85%の能力である。左右方向では→方向は←より、上下方向では↑方向は↓よりややよい傾向があるが有意な差ではない。この結果は正化ら¹²⁾の報告を追認したものとなった。上下方向が左右より劣る理由は上下方向の眼球運動は左右方向に比較して速度と正確性に劣る¹³⁾ことにあると考えられる。



6) スポーツ選手の DVA

スポーツ選手の DVA は非スポーツ選手よりよいとされている^{5) 14)}が、当 DVA ソフトによる測定で同様の結果がみられるかを大学生男女のボールゲーム選手と非ボールゲーム選手で比較した。

被検者は男・女ボールゲーム選手各25名,男・女非ボールゲーム選手25名の計100名である。ボールゲーム選手のほとんどが小学生の頃からボールゲームスポーツを始め大学生まで継続している。大学でのスポーツは男子では硬式・軟式野球が,女子では硬式・軟式テニス,ラクロスがほとんどである。

非ボールゲーム選手は小中学校まではスポーツクラブに所属していた被検者もいるが,全員が高校,大学ではスポーツクラブに所属せず継続的なスポーツをしていない。平均年齢はいずれも21才前後である。左右方向の DVA で比較した。

図8は左右方向を込みにした DVA の比較である。一元配置分散分析の結果グループ間が1%水準で有意であった。下位検定の結果、図中に有意な差があった。

男女のボールゲーム選手間に有意な性差があり,男子の方が女子ボールゲーム選手よりすぐれていたが,非ボールゲーム選手間では男子に有利傾向があったものの有意な差ではなかった。

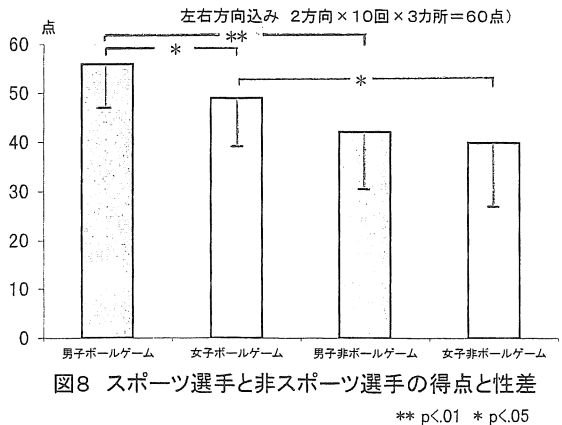


図8 スポーツ選手と非スポーツ選手の得点と性差

** p < .01 * p < .05

DVA は男子ボールゲーム選手 > 女子ボールゲーム選手 > 男子非ボールゲーム選手 > 女子非ボールゲーム選手の順であり, スポーツ選手は DVA がよいとするこれまでの知見を裏づけたものとなった。おそらく長い間のスポーツ経験, とくに速いスピードで動くボールを見てそれに反応するという日常の練習が非ボールゲーム選手との差をもたらしている理由と思われる。

5. まとめ

手軽に, どこでも DVA 動体視力が測定できるために汎用性のあるパーソナルコンピュータをデバイスとし, モニタ上に 1 桁の数字を 3 個, 60 度/秒で移動させるという DVA ソフトを開発した。このソフトウェアの有効性を検証するためにいくつかの測定をおこなったが有効な測定法であるという結論を得た。

- 1) その理由として, 現行の統一的な DVA 動体視力測定装置である HI-10 との相関 (相関係数 0.851) がきわめて高いことである。HI-10 が DVA の測定に最良かという問題はあるが, 少なくともこれに代わるものがない以上, 相関が高かったことから, 有効な測定法ということができよう。
- 2) これを裏づけるものとして HI-10 を使用して得られた知見とほとんど同じ結果となったことがあげられる。以下の 4 点である。
 - (1) DVA の発達過程と加齢影響において, 小学生期ではまだ発達過程であり, 20 才頃にピークとなり, 以後加齢とともに低下していた。中年期では小学生とほぼ同じ能力となり, 高齢期では小学生を下回っていた。
 - (2) DVA には性差がある。高齢期を除いて有意な性差があり, 男性の方がすぐれていた。
 - (3) 上下方向の DVA は左右方向より劣り約 85% であった。
 - (4) スポーツ選手の DVA は非スポーツ選手よりすぐれていた。
- 3) 上記から当 DVA ソフトは DVA 測定に有効であると思われる。しかし有効性の検証には再現性の問題が残されているが, 現時点ではなされていない。今後の課題としたい。また斜め方向の DVA は当ソフトでしかなしえないが, これも今後測定を行う予定である。

文献

- 1) J. W. Miller and E. Ludvig, "The effect of relative motion on visual acuity", Survey Ophthalmology, Vol. 7, pp83-116, 1962.
- 2) 鈴木昭弘: 空間における動体視知覚の動揺と視覚適性の開発, 日眼会誌, 75 巻, 9 号, pp22-54, 1971.
- 3) H. Ishigaki and M. Miyao, "A new dynamic visual acuity device", Jpn Ind Health, Vol. 36, pp181-182, 1994.
- 4) H. Ishigaki and M. Miyao, "Implication for dynamic visual acuity with changes in age and sex", Perceptual and Motor Skills, Vol. 78, pp363-369, 1994.
- 5) H. Ishigaki and M. Miyao, "Differences in dynamic visual acuity between athletes and nonathletes", Perceptual and Motor Skills, Vol. 77, pp835-839, 1993.
- 6) 石垣尚男: 高齢者の Dynamic Visual Acuity と体力レベル, 第 14 回バイオメカニズム学術講演会抄録集, 1993.
- 7) 柴田 崇, 加藤元嗣, 石垣尚男: DVA 動体視力のトレーニング効果, JOA Journal, Vol. 15, pp4-9, 1997.
- 8) 吉井 泉: 眼球運動のトレーニングと DVA, フィジーク, No. 110, pp25-27, 1999.
- 9) 石田和之, 平野裕一: 水平面内を移動する視標を追従する際の眼球運動, 第 49 回日本体育学会抄録集, p221, 1998.
- 10) 荻阪良二ら編: 眼球運動の実験心理学, pp199-217, 名古屋大学出版会, 名古屋, 1993.
- 11) 福田亮子, 佐久間美能留, 中村悦夫, 福田忠彦: 注視点の定義に関する実験的検討, 人間工学, Vol. 32, No. 4, pp197-204, 1995.
- 12) 正化圭介, 三嶋弘: 四方向動体視力測定, 眼科臨床医報, Vol. 92, No. 6, p152, 1998.
- 13) A. Yamazaki and S. Ishikawa, "Horizontal and vertical smooth pursuit eye movements" Jap. J. Ophthalmology, Vol. 17, pp103-112, 1973.
- 14) M. Rouse, P. Deland, R. Christian and J. Hawley "A comparison study of dynamic visual acuity between athletes and nonathletes", J. American Optometric Association, Vol. 59, No. 12, pp946-950, 1988.

(受理 平成11年 3月20日)