

Title	眼-頭位協調運動の検討：オープン・スキル系スポーツをモデルとして
Sub Title	Study on eye-head coordination : using sports on the open-skill line as models
Author	近藤, 明彦(Kondo, Akihiko)
Publisher	慶應義塾大学体育研究所
Publication year	1980
Jtitle	体育研究所紀要 (Bulletin of the institute of physical education, Keio university). Vol.20, No.1 (1980. 12) ,p.37- 50
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00135710-00200001-0037

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

眼—頭位協調運動の検討

——オープン・スキル系スポーツを
モデルとして——

近 藤 明 彦*

緒 言

研 究 方 法

結 果 と 考 察

(1) 反応パターンの検討

(2) 反応時間の検討

ま と め

緒

言

ボールゲームなどにおいて、「目の悪い人に好プレーヤーはいない」あるいは、「ボールから目を離さないことが基本」と言われる。これは、身体活動がほとんど視覚によってリードされ、その他の感覚器官はその補助的役割を果たしているに過ぎないことを表現している経験的な言葉であると思われる。これは、人間を知覚—運動システム (System of perceptual—motor performance) として考えた場合、情報の収集という意味で感覚器 (Sense organs) および中枢の知覚機構 (Perceptual mechanisms) が重要な役割を果たし、特に視覚が中心となることを示している。視覚とは、電磁スペクトルの中の $400\sim 700\text{m}\mu$ に及ぶ輻射波長範囲をおおう帯域から発せられる視覚刺激を眼球の網膜で捕え、それを電気的变化として視神経を介して大脳皮質に送り明暗・色彩などの感覚を得ることである。しかし、眼球はその視野内にあるすべての物を一定の詳しさで見ること(1)はできない。視力は網膜の中心窩の部分で特に高く、中心窩をはずれると急激に低下する。この中心窩の部分は視角にして $1^\circ 20'$ ぐらいにすぎないとされている。従って、実際の運動場面、たとえばサッカー、バスケットボールなどでは、相手、味方、ボール、ゴールなど自分の置かれている状況に関して、より詳しい情報を得ようと、眼球(3)

* 慶應義塾大学体育研究所助手

眼一頭位協調運動の検討

のみを眼窩内で動かすばかりか、眼窩をその一部とする頭部をも動かし視覚刺激を網膜の中心窩にとらえようとする。

筆者らは、これらの知見に基づき、運動能力の一つである調整機能を、知覚—反応系を通して明らかにするために、眼球と頭部の運動を協応させ中心視野外にある多様で複雑な刺激を短期的な記憶をともしない受容し、その情報をもとに的確な反応を起こすという全身選択反応を用い、実験を重ねてきた。その結果、視覚情報を得ようとして行なわれる眼球と頭部の運動の調整が、反応時間の遅速を決定する基礎的要因の一つとなっており、トレーニング効果により眼球や頭部の運動の潜時や運動時間そのものが短くなり、反応動作がよりスピーディになっていることが確認された。

この実験の結果重要視された視覚情報収集時の眼球と頭部の運動は、複合的な運動であり眼一頭位協調運動 (Eye-head coordination) と呼ばれている。MIT の Bizzi らによるサルを用いた実験では、この眼一頭位協調運動について次のように報告されている。視野の周辺部に視覚刺激が現われると、眼球は一定の潜時の後に飛び越し運動 (Saccadic eye movement) を行なう。そして、それを追うようにして、頭部が同じ方向に徐々に回転を起こす。次に、視線が目標に達すると、引き続く頭部の回転運動に対して、眼球が頭部の回転方向とは反対方向への補償的眼球運動 (Compensatory eye movement) を起こし注視を保つという一連の動作がなされている。また、人についても一連の眼一頭位協調運動は同様であることが確認されており、この一連の視標を注視するための巧みな協調運動は、中枢プログラムによって作られた運動パターンに対して、前庭からの求心性信号により制御される前庭動眼反射を含む、自己受容性感覚器による調整作用が生じた結果であると考えられている。

さて、先述の運動場面での眼一頭位協調運動の役割は、サッカーのようなフィールド種目では、自分を中心とした全周囲 360° の情報を捕えなければ良いプレーが出来ないといわれるほど重要なものである。しかし、上手なプレーヤーは「後ろにも目があるのではないか」と観客も驚くほど、実際にその瞬間に見ていないものに対しても反応していることを見逃すことはできない。そして、このような事実から次のような仮説の設定が可能となる。

すなわち、高次の運動技能にともなう空間的情報の認知には、視覚的情報を記憶の中にあるゲームの展開に関する多くの作戦図 (イメージ) に照らし合わせ、その中から一番適した図を予測し、選び出すという過程が存在し、ゲームが次にどのように展開されるかを判断し、行動しているものと推測される。同様に、選手の行動様式も作戦図のパターンに従った規定化されたものが存在すると考えられ、視覚情報サンプリングを行なうための眼一頭位協調運動も、パターン化されて行なわれていると考えられる。このような運動場面でのプレーは、一般的にはオープンスキル (open skill) と呼ばれており、この随意的な動作は過去の経験・学習によっ

眼一頭位協調運動の検討

て作られたイメージに従い、フィードフォワード (feed-forward) 制御に依存してなされると考えられる。⁽¹²⁾

以上の仮説を基にして、本研究はサッカー、バスケットボールなど、視覚情報収集のための眼一頭位協調運動が特に重要と考えられるオープンスキル系の種目のシミュレートモデルである光刺激呈示装置を用い、刺激呈示角度の違い、先行運動経験の違い、および刺激呈示位置を予測可能な場合とそうでない場合についての反応の特性を見ようと試みたものである。そのため反応のパターンという質的な検討と、反応時間という量的な検討の2つを行なった。

研 究 方 法

1) 光刺激呈示装置

半径 150cm の半円弧状のスクリーン (上下幅 90cm) に、赤色の発光ダイオードを用いた注視点用の予告刺激と本刺激を組み込んだ光刺激呈示装置を作製した (図1)。スクリーンに囲まれた中央の位置に椅子があり、被験者が座ると正面に予告刺激が見える。その位置より左右 30° おきに、R30°, R60°, R90°, L30°, L60°, L90° の6個の本刺激が呈示されるようにセットした。これは、予告刺激の呈示によりそれを注視させ反応のための準備状態を作らせ、その

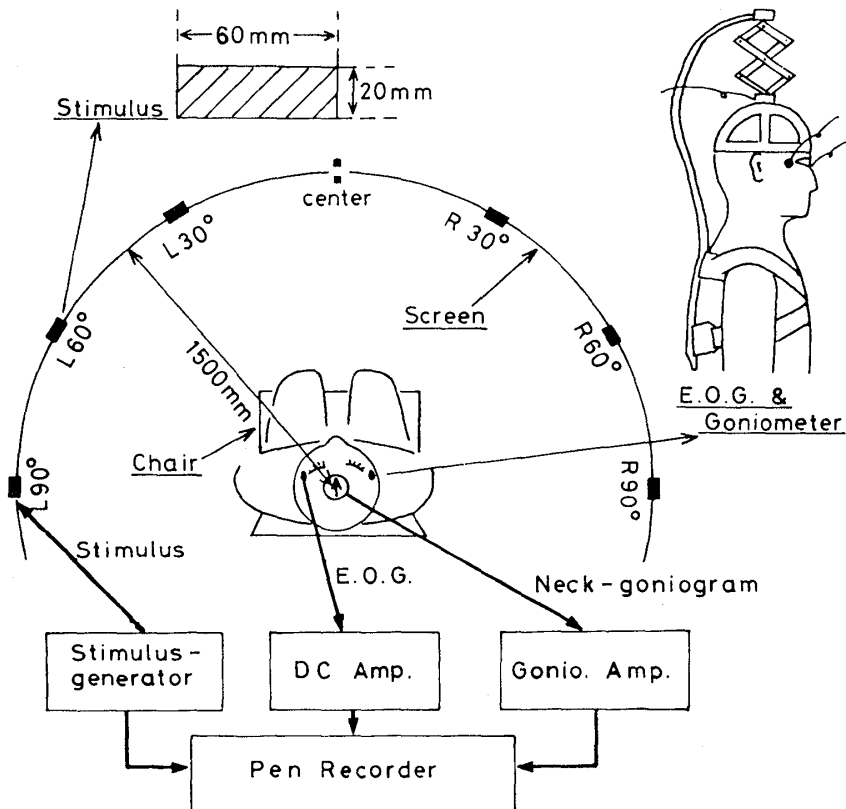


図1 実験装置およびブロック線図

後に本刺激を呈示し、それを注視させようとしたものである。

2) 測定項目

E. O. G. : 被験者の眼球の左右方向への動きをとらえるために、両眼の外角に銀一塩化銀電極を貼布し網角膜電位 (Corneoretinal potential) を導出し、生体電気現象用直流増幅器により増幅、ペン書きオシログラフに記録した。これは網角膜電位を利用し、眼球が運動する時に、それにつれて変化する周囲の静電位を記録するものであり、眼球の偏位角が約 80° 以内では電位と直線関係にある。その際、直流増幅器の高周波遮断回路は使用せず、ペン書きオシログラフのペーパースピードは 50mm/sec とした。

Neck-goniogram : 頭部の運動角度は、パンタグラフ式の機構により、体幹部に対する頭部の垂直軸の回転のみをとらえ、これを直線性の高いポテンシオメーターを用い電位変化に変換し、前述のペン書きオシログラフ上に E. O. G. と同期して記録した。

写真分析 : 実際の眼球と頭部の動きを写真分析するために、ビデオコーダーを用いた動作分析を行なった。ビデオコーダーにはペン書きオシログラフとの時間的対応を示すため 1/100 sec 単位の時間をデジタル表示で画面上の右下すみに写し込み、このタイマーのスイッチとペン書きオシログラフ上の刺激呈示時点を示すマーカーが同期して作動するように、マイクロスイッチを連動させた。この際、ビデオコーダーの画面は1秒間に60フィールド進むことから分析は 1/60sec のオーダーでなされた。また、この写真分析に限って、ペン書きオシログラフのペーパースピードを 125mm/sec とした。

3) 被験者

本実験に用いた被験者は10名であり、21歳から26歳までの健康な成人男子である。そのうち5名は、サッカー、バスケットなどの眼球と頭部の協応による視覚情報収集の必要があると考えられる種目の運動部入部経験者であり、残り5名は陸上などそれ以外の種目の経験者および運動部入部経験のない者である。

4) 手続

実験は次のような手順である。電極、ゴニオメーターを装着した被験者をシールドルームに誘導し、椅子に座らせ、刺激呈示装置を目の高さに調整した。そして被験者への教示は、「予告刺激が呈示されたらそれを注視しなさい。それから約 1.5 秒～2 秒の間隔で本刺激が呈示されます。刺激が呈示されたらできるだけ早くその刺激を注視しなさい。」という内容である。このとき本刺激呈示と、それに先だつ予告刺激の呈示との時間間隔は“覚醒水準が高まる至適 foreperiod は 1.5sec から 2sec までを一応の目安とすることができる。”という報告⁽⁷⁾から決めた。そして、6条件の刺激に対して、被験者がその位置を予測しないように刺激呈示順序をランダムにした場合 (random condition) と、刺激呈示位置を被験者が予測可能となる

眼一頭位協調運動の検討

ように1つの位置に定常的に呈示した場合 (constant condition) について、各刺激呈示位置10回ずつ、1つのコンディションで60試行、合計120試行を準暗室下の状況で行なった。

また、写真分析はこれとは別に、被験者1名を用い、250Wのスポットランプを各刺激の下方50cmの位置に、カメラを上方50cmの位置にセットし、照明による眼球の角膜の反射光および頭部の動きを記録した。このとき、他の実験手続きは、前述のものと同様である。

結 果 と 考 察

(1) 反応パターンの検討

図2は、被験者Aの右側の刺激 (R30°, R60°, R90°) に対して、ランダムおよびコンスタントの両条件について、5回分の反応を重ね合わせ、反応のパターンの定常性について検討したものである。このとき、左側の刺激 (L30°, L60°, L90°) は、この図と上下がまったく対称的なものであることからこれを省略し、右側の刺激に対する反応についてのみを考察した。

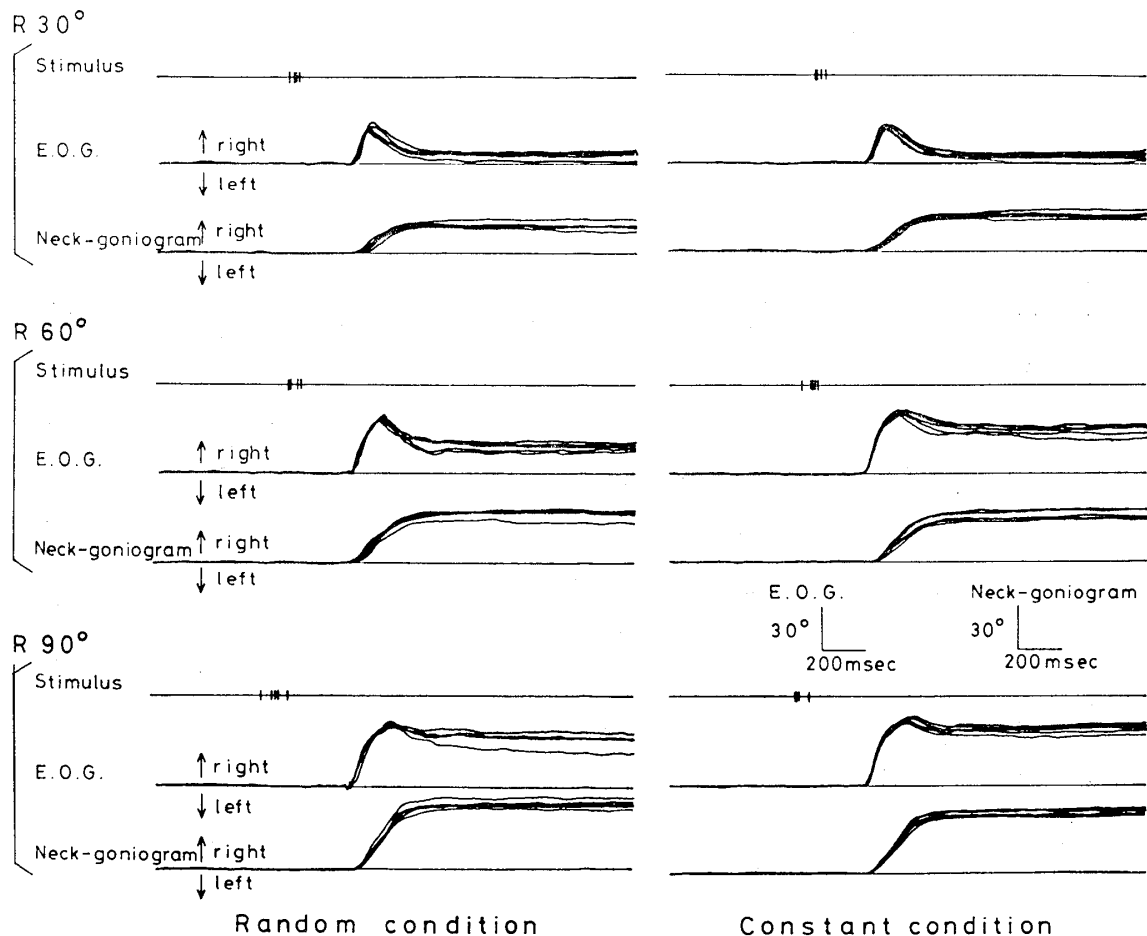


図2 眼一頭位協調運動の実測例 (被験者Aの反応に対し、眼球の飛び越し運動開始時点を基準に5回の重ね合わせ法による)

眼一頭位協調運動の検討

この図は、眼球の飛び越し運動開始時点を基準に重ね合わせを行なったものであるが、刺激呈示から眼球の飛び越し運動が開始されるまでの潜時に多少の違いが認められたものの、眼球の飛び越し運動開始時点以後の眼球・頭部の両者の運動は定常的な反応のパターンを示している。特に眼球が飛び越し運動を行なっている間（図中 E. O. G. が右方向へ大きく変化している場所）は、E. O. G., Neck-goniogram の両者ともほぼ完全に重なっている事実は、刺激呈示角度の違いに対して両者の偏位角度が変化しても眼球と頭部は協調のとれた運動の連鎖を示す結果と考えられる。眼球が補償的回転運動（飛び越し運動の後 E. O. G. が左方向へ徐々に変化する）後、そのパターンはわずかなずれを示すが、これは、頭部の偏位角度の違いに対する眼球の補償の量の違いを示すものと考えられ、それ以後の過程では眼球・頭部とも注視のために一定の

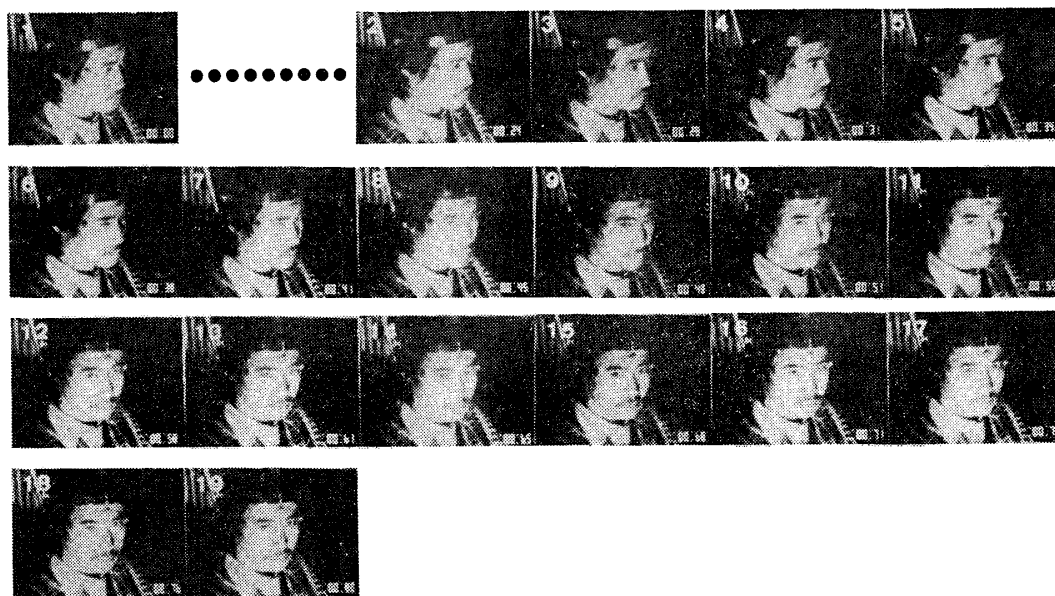
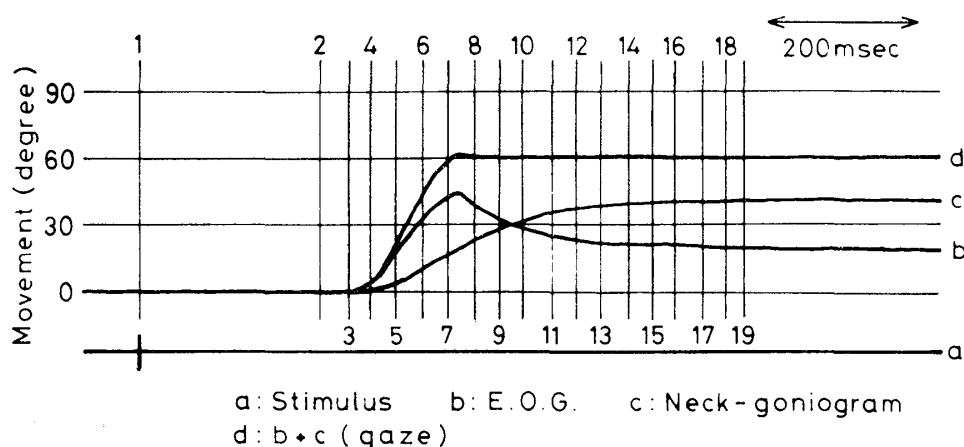


図 3 E. O. G., Neck-goniogram の加算により求められた Gaze の写真分析の結果との対応（被験者 J）

眼一頭位協調運動の検討

偏位角度を保ち続けた。

以上の結果は、ランダム、コンスタントの両条件とも、刺激呈示角度の違いにかかわらず認められたものであり、他の9名も同様の結果であった。このように、眼一頭位協調運動は定常性が高いと認められたことから、次に個々の反応に対して検討を試みた。

図3は被験者Jのランダム・コンディションのR60°に対する反応のE.O.G.とNeck-goniogramの角度変化からそれを加算して注視角(Gaze)を求めた結果と、ビデオによる写真分析の結果を対応させたものである。つまり眼球が刺激を注視した時点がどこであるかを検討しようとしたものである。両者の時間的対応関係を示すため、写真に番号をつけ、それに対応するペン書きオシログラフ上の記録にもその時点をプロットした。

これによると刺激呈示時点から約280msecの潜時(写真1から3)の後、眼球が急激な飛び越し運動を開始し、その後頭部は約310msecの時点から眼球の運動を追うように徐々にその運動を大きくする(写真4から6)。そして約430msecの時点(写真7と8の間)で眼球が刺激を中心窩に捕えると、視線が行き過ぎないように引き続く頭部の回転運動に対して相対的に逆回転の補償的眼球運動を起こして注視を保つための調整を行なう。この補償的眼球運動による

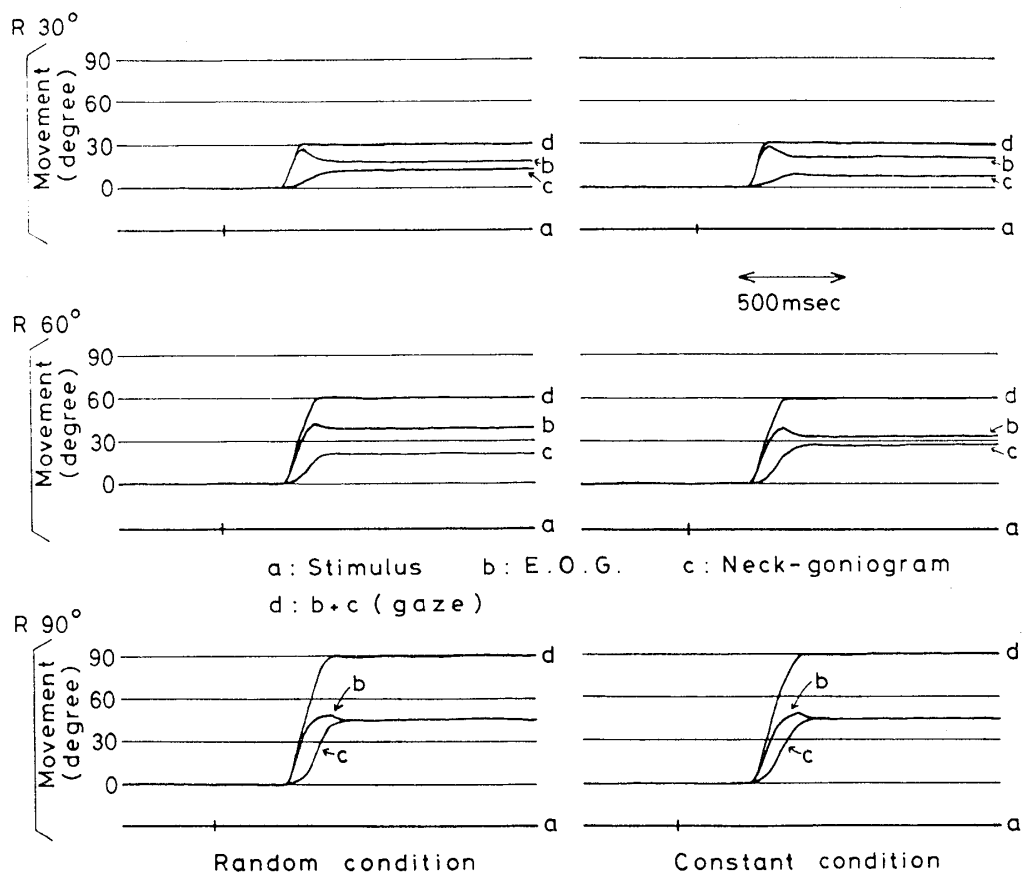


図4 眼一頭位協調運動の反応パターン(被験者D)

眼一頭位協調運動の検討

注視のための調整は写真 8 から 15 にかけて、また、疑視角を維持するための E. O. G. と Neck-goniogram の変化としてはっきり示された。

この結果は、運動の大きさに相違はあるが他の刺激呈示角度も同様に、コンスタント・コンディションにおいても、多少の時間的ずれは認められるが一連の運動の過程はまったく同じであった。これらの結果は Bizzi らのサルを用いた実験、および人による実験と同様のものがあるが、刺激呈示角度の相違に拘わらず、眼球がその中心窩で刺激を捕えるのは補償的眼球運動の開始時点であることが確認された。

以上の結果をふまえ、次に運動経験が反応パターンにどのような影響を及ぼすかを E. O. G., Neck-goniogram とこの両者を加算した Gaze の反応パターンから比較したものが、図 4 と図 5 である。図 4 はサッカー部に 6 年の入部経験を持つ被験者 D のものであり、図 5 は陸上競技歴 9 年の被験者 A のものである。この両名の反応パターンは、それぞれ眼一頭位協調運動による視覚情報収集の必要がある運動種目の経験者群と、そのような経験をもたない者の群の特徴的な傾向を示すものである。

これをみると図 3 で示したビデオによる分析と同様に、補償的眼球運動を起こした時点がそれ

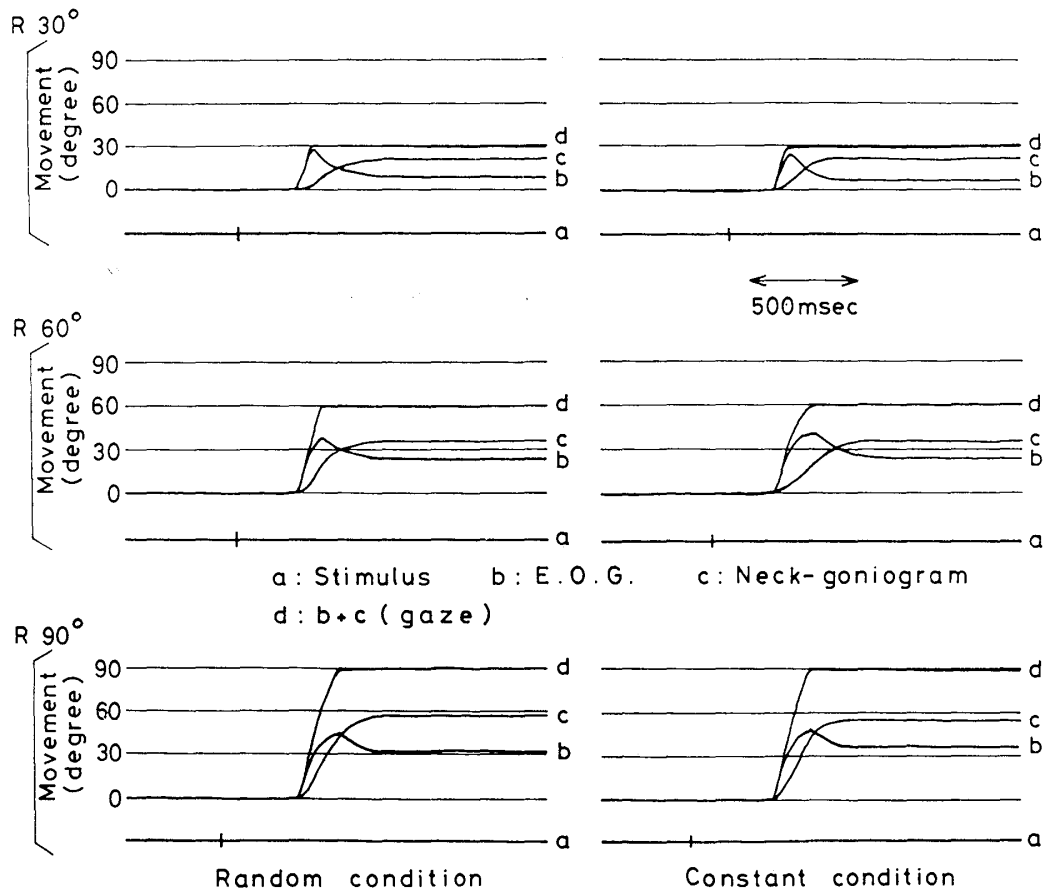


図 5 眼一頭位協調運動の反応パターン (被験者 A)

眼一頭位協調運動の検討

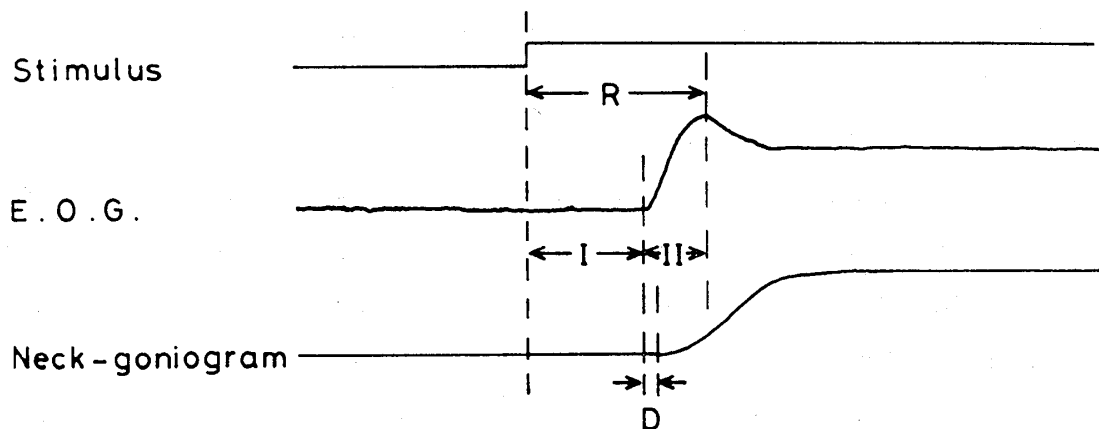
それぞれの刺激を注視した時点である。これは図の Gaze がそれぞれの刺激呈示角度に達した時点から垂線を引いた所が補償的眼球運動の開始時点と一致したことにより明らかである。そしてこの時点までの眼球と頭部の運動の過程は先の分析と同様の結果を示しており、両者とも同様であった。

次に補償的眼球運動後の両者の反応パターンを比較すると次のような相違が認められた。それは、被験者 D が $R30^\circ$ 、 $R60^\circ$ では眼球の偏位角度が頭部の偏位角度に比して大きく、 $R90^\circ$ では両者とも同じ値を示したのに対し、被験者 A は $R30^\circ$ 、 $R60^\circ$ 、 $R90^\circ$ とも眼球の偏位角度は頭部のそれに比して小さかった。これは補償的眼球運動開始時点の眼球の偏位角度は両者ともほぼ同じであったが、その後に引き続く頭部の運動の相違により、注視を維持するための補償的眼球運動の大きさが変化したものと考えられる。

以上の結果は、ランダムおよびコンスタントの両条件とも同様に認められたが、この両者の反応パターンの相違は、被験者 D は頭部の偏位角度を最小限にして横目づかいで刺激を注視しようとするのに対し、被験者 A は頭部の偏位角度を大きくして顔の正面で刺激を注視しようとしたものである。これは被験者 D がサッカーの経験を通し、視覚情報収集のトレーニングを行ない、その結果、眼球に比較して慣性質量の大きな頭部の運動を小さくするような合目的なトレーニング効果を得たことを示唆していると思われる。

(2) 反応時間の検討

眼一頭位協応反応において、眼球が刺激を中心窩に捕えるまでの反応時間を前述のビデオ分



- R : Reaction time
- I : Latency of eye movement
- II : Eye movement time
- D : Difference between latency of head movement and eye movement

図 6 眼一頭位協調運動による刺激注視までの反応時間相の分類

眼一頭位協調運動の検討

析の結果から図 6 に示すような時間相に分けた。R は全体の反応時間、I は眼球運動の潜時、II は眼球運動時間である。D は頭部運動の潜時から眼球運動の潜時を引いた差である。

この時間相をもとに、コンスタント、ランダム の両条件における刺激呈示角度別の全被験者の各反応時間相の平均と標準偏差を示したのが表 1 である。

表 1 眼一頭位協調運動の各反応時間相の平均値と標準偏差

CONDITION	ANGLE	n	R		I		II		D	
			$\bar{X}$	sd	$\bar{X}$	sd	$\bar{X}$	sd	$\bar{X}$	sd
RANDOM	R-30	10	401	36	305	30	97	15	36	23
	R-60	10	484	45	317	36	166	20	19	20
	R-90	10	656	86	422	59	234	43	10	13
	L-30	10	417	57	319	54	98	12	25	25
	L-60	10	489	48	326	45	163	16	14	15
	L-90	10	622	56	394	46	228	23	8	15
CONSTANT	R-30	10	362	36	258	31	104	12	25	14
	R-60	10	445	40	271	29	173	23	14	11
	R-90	10	587	67	346	48	241	32	- 2	12
	L-30	10	368	44	260	34	108	16	16	15
	L-60	10	462	45	283	35	179	20	9	10
	L-90	10	594	70	361	44	234	33	- 3	16

(msec)

図 7 は表 1 の結果をもとにランダム、コンスタント両条件における刺激呈示角度の違いによる反応時間を比較したものである。太線が全被験者の平均値を示し、A (または a) から J (または j) のアルファベットを結んだ細線が各被験者の反応時間を示している。

この結果、ランダムおよびコンスタントの両条件とも同様の結果が認められた。全体の反応時間である R は刺激呈示角度が視野の周辺に広がるほど遅延し、各角度間には有意差が認められた。これを全体の反応時間 R を構成する 2 つの相に分類すると、II の眼球の運動時間は刺激の呈示される角度が 30°, 60°, 90° と大きくなるにつれ、眼球は物理的にその運動量を増加しなければならず、それに費やされる時間も長くなるため有意差が認められる。これに対して I の眼球運動の潜時は、60° から 90° へと刺激呈示角度が視野の周辺部に広がる場合は遅延しその差も有意であるが、30° から 60° の間では有意差は認められない。この I の相における反応時間に関しては、網膜上に到達する刺激光の物理的な強度の影響、網膜上の位置の相違から生ずる視覚に係わる因子によるものと考えられる。そして今回の実験のように色視野が比較的狭いとされる赤色光の刺激を用いた場合、60° 付近にその変化が現われる。次に D の相であるが、刺激の呈示角度が視野の周辺部に広がるにつれて減少するという傾向が認められた。

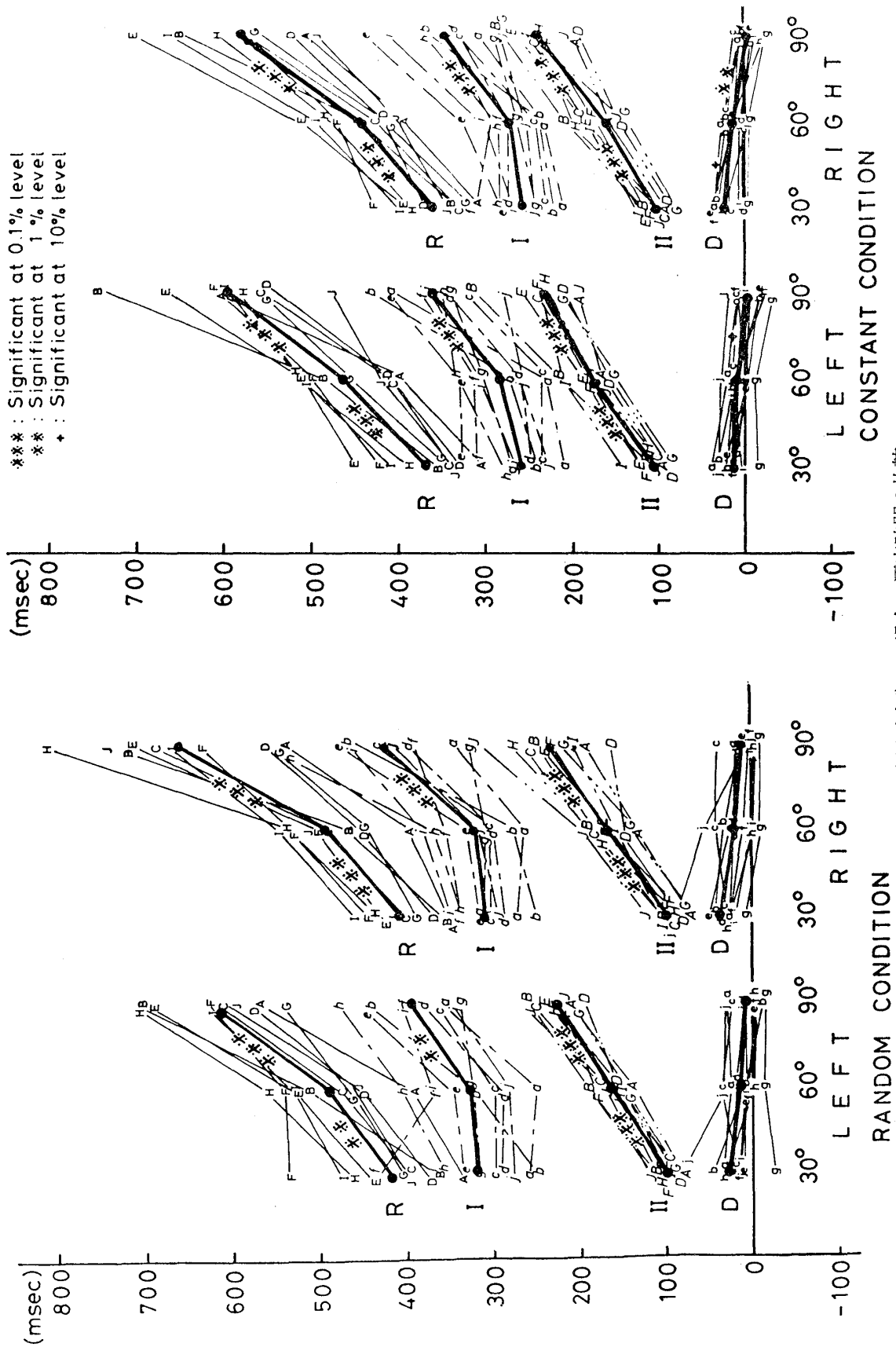


図 7 刺激呈示位置が変化した場合の反応時間の比較

眼一頭位協調運動の検討

ランダム・コンディションとコンスタント・コンディションの反応時間を比較したのが図8である。全体の反応時間を示す R はランダム・コンディションのほうが遅延する傾向にあり、R30°, L30°, L60° では有意な差が認められる。R を構成する2つの相から見ると、中枢過程に費やされる時間を含む I の相ではランダム・コンディションが遅延する傾向を示し、R30°, R60°, R90°, L30°, L60° において有意な差が認められた。また II の相では、逆にコンスタント・コンディションの方が反応時間が遅延する傾向を示している。これは全体の反応時間 R でみられたランダム・コンディションの遅延の傾向の原因が、I の相の遅延にあることを示し、II の相の影響により、R における反応時間全体の遅延が大きなものではなくなったと考えられる。

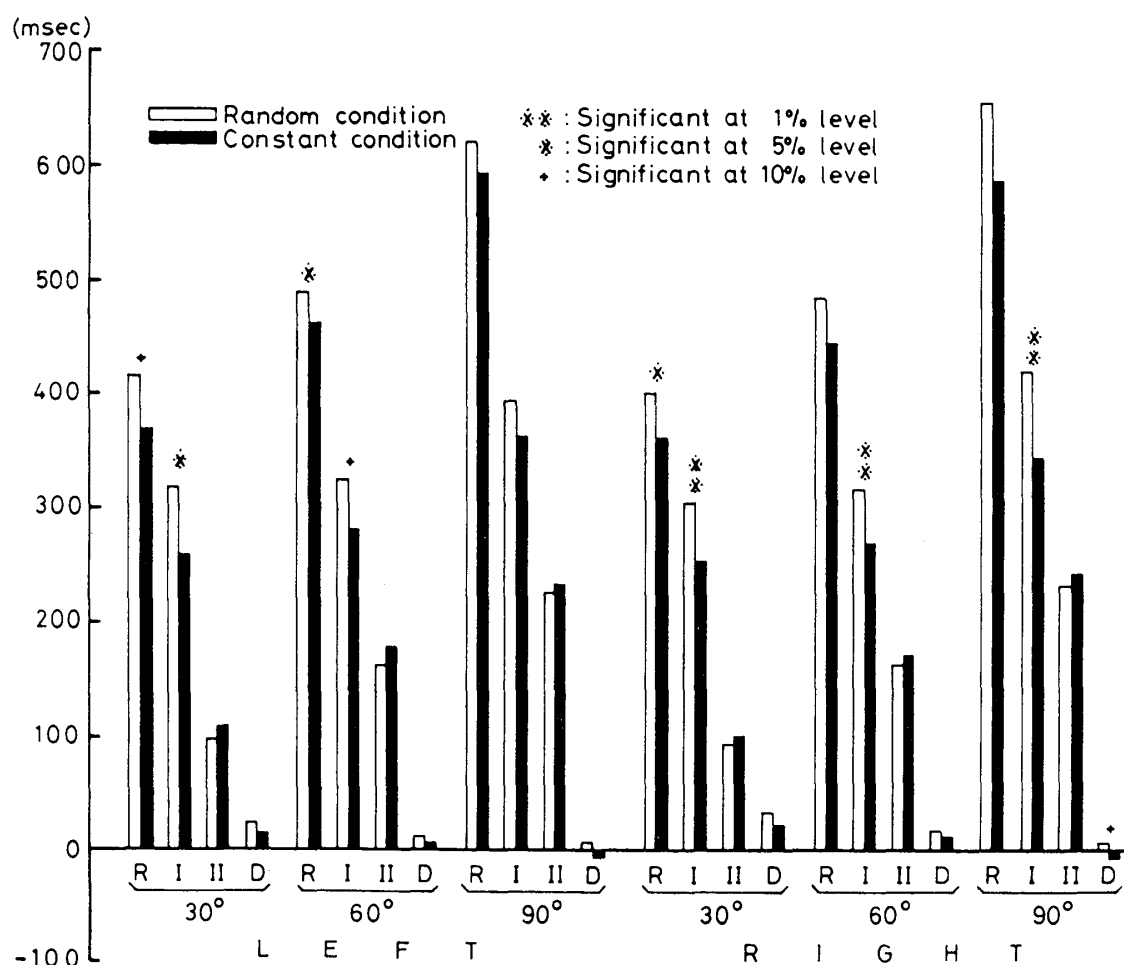


図8 ランダム・コンディションとコンスタント・コンディションとの反応時間の比較

以上の両条件の反応時間上の相違は、Bizzi の報告にある trigger mode と predicted mode⁽¹⁴⁾ では反応のためのプログラムに相違があるとする仮説に対しても順当な結果であり、予測の有無が反応に強く影響することが明らかとなった。

ま と め

本研究はサッカー、バスケットボールなど眼一頭位協調運動が重要と考えられるオープンスキル系の種目のシミュレートモデルである光刺激呈示装置を用いた実験場面を設定し、刺激呈示角度の相違、先行運動経験の相違、および予測の有無などの相違に対して眼一頭位協調運動がどのように影響されるかを検討しようとしたものである。

その結果、本実験条件下から次のようなことが得られた。

- 1) 刺激呈示角度の違いに関しては、眼球・頭部の運動量の大小の相違はある。しかし、その運動は同様のパターンを示すことが確認された。また、視線が視標に達するのは補償的眼球運動を開始する時点で、これは刺激呈示位置に係わりないことが明らかとなった。そして、刺激を眼球の中心窩に捕えるまでの反応時間は、本実験のような赤色光の刺激では 60° を越える角度では眼球運動の潜時が長くなり、その結果全体の反応時間も遅延することが明らかとなった。
- 2) 先行運動経験の相違は反応パターンに次のような違いをもたらした。それは、視標を注視する際の頭部と眼球の偏位角度の相違であり、眼一頭位協調運動を介して視覚情報の収集を行なう運動種目の経験者は、頭部の偏位角度を小さくして、眼球の運動を中心にして視標を注視する傾向を示した。これは仮説に近似した結果であるが、本実験の条件設定が視標の注視による弁別・認知という運動場面では不可欠な要因を含んでいないことから、仮説を実証するためにはさらに実験を重ねる必要がある。
- 3) 刺激が呈示される場所があらかじめ予測可能な場合と、予測不可能な場合を比較した結果、予測可能な方が反応時間全体が短縮する傾向を示した。その主たる原因は潜時という中枢過程における弁別・認知・決断に費やされる時間を含む時間相であった。これらの違いは中枢における運動プログラムの相違によるものと考えられる。しかし、実際の運動場面での予測は本実験条件とは異なった因子がさらに複雑にからみあったものであり、さらに検討を必要とする。

参考文献

- (1) H. T. A. Whiting : Acquiring ball skill, A psychological interpretation ; Lea & febiger, Philadelphia. 1971, pp. 1~35.
- (2) C. G. Mueller, 田中良久訳：感覚心理学, 岩波書店, 昭41, 10~39頁。
- (3) 渡辺毅他：視覚の科学, 写真工業出版, 昭50, 27~55頁。
- (4) 藤田厚：多様選択全身反応時間相の分析による巧緻性の解明, 昭和49年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No. II—4, 昭50, 50~68頁。

眼一頭位協調運動の検討

- (5) 近藤明彦：多様全身選択反応の分析的研究，桜門体育学研究第11集，昭52，24～28頁。
- (6) 深見悦子：多様全身選択反応におけるメンタルプラクティスの効果について，桜門体育学研究第11集，昭52，29～35頁。
- (7) 深見和男：全身選択反応の基礎的研究—注意状態が反応におよぼす影響について—，桜門体育学研究第12集，昭53，25～32頁。
- (8) E. Bizzi, R. E. Kalil, V. Tagliasco : Eye-head coordination, Evidence for centrally patterned Organization ; Science, Vol. 173, pp. 452～454, 1971.
- (9) E. Bizzi : The coordination of eye-head movement ; Scientific American, Vol. 231 No. 4, pp. 100～106, 1974,
- (10) 伊藤正男・島津浩：高次脳機能と中枢プログラミング，産業図書，昭51，3～31頁。
- (11) 藤建夫：ヒトにおける眼一頭位協調運動，神経進歩22巻2号，昭53，365～375頁。
- (12) 真島英信・猪飼道夫編：生体の運動機構とその制御，杏林書店，昭47，231～251頁。
- (13) 鈴木淳一：前庭と眼振，生理学大系VI，感覚の生理学，医学書院，昭42，845～896頁。
- (14) E. Bizzi, R. E. Kalil, P. Morasso : Two modes of active eye-head coordination in monkeys ; Brain research, Vol. 40, pp. 45～48, 1972.