

原著論文

大学バスケットボール選手における
輻輳開散運動の潜時と速度に関する実験的研究

An experimental study on the latency and velocity of vergence eye movements
in university basketball players

國部 雅大¹⁾ 東 亜弓²⁾ 村上 なおみ³⁾ 荒木 雅信⁴⁾
Masahiro Kokubu¹⁾ Ayumi Higashi²⁾ Naomi Murakami³⁾ Masanobu Araki⁴⁾

Abstract

The purpose of the present study was to examine the latency and velocity of vergence eye movements in university basketball players when shifting their gaze in the depth direction. Data from 77 college basketball players (35 female and 42 male) were analyzed in this study. They were classified as 31 regular players (17 female and 14 male) and 46 non-regular players (18 female and 28 male). In the experiment for measuring vergence, the participants were asked to shift their gaze as quickly as possible to the onset of light emitting diodes located at distances of 20 and 150 cm. Horizontal movements of the left and right eyes were recorded respectively with the electro-oculogram and then vergence parameters such as latency and peak velocity were calculated. The differences in these parameters due to group, gaze direction, and gender were examined. The results of analysis of variance indicated that vergence latencies were shorter in regular players than in non-regular players. Peak velocities were higher in convergence than in divergence. There was no gender difference in the vergence parameters. The present study suggests that basketball players with more match experience could shift their gaze quickly in the depth direction.

キーワード バスケットボール, 両眼眼球運動, 潜時, 輻輳開散運動
basketball, binocular eye movements, latency, vergence

1) 筑波大学
2) 大阪国際大学
3) 大阪体育大学
4) 日本福祉大学

University of Tsukuba
Osaka International University
Osaka University of Health and Sport Sciences
Nihon Fukushi University

1. 緒言

スポーツでは、様々な場面で環境からの情報を効果的に用いて運動を行うことが必要となる。特に球技スポーツにおいては、視空間内の様々な情報を取り入れるための注視移動が、優れたプレーを行う上で重要な影響を及ぼすと考えられている (Zwierko et al., 2019)。バスケットボールの場面を例にとると、選手はボールやゴール、味方選手や相手選手など、3次元空間内で自身に対して異なる距離に位置する様々な対象を常に確認しながらプレーを行うことが求められる (Mangine et al., 2014)。そのため、競技を行う上では、奥行き方向への注視移動を素早く行えることが重要であると考えられる。

これまでの研究において、バスケットボールの熟練選手は未熟練者に比べて、プレーに関連した視覚パターンの再生に優れることや (Allard et al., 1980; Kioumourtzoglou et al., 1998a; Starkes et al., 1994)、選択的注意および予測に優れること (Kioumourtzoglou et al., 1998a, b)、中心視野と周辺視野の両方から必要な情報抽出を行い、プレーに関する的確な意思決定をしていること (Ryu et al., 2013) など、競技に特有の認知技能や知覚技能に優れていることが報告されてきた。これに加え、国内外の多くの研究から、バスケットボール選手における奥行き知覚に関する検討がなされてきた (Isaacs, 1981; 木村ほか, 2012; 斉藤ほか, 1997; Sillero Quintana et al., 2007; Singh and Agashe, 2015; 竹内ほか, 2000)。例えば、大学生を対象に、女子選手におけるシーズン中のフリースロー成功率と奥行き知覚テストの成績との間に相関がみられたこと (Isaacs, 1981) や、奥行き知覚に優れる選手はパステストにおける正確性が高かったことが報告されている (Singh and Agashe, 2015)。また、レギュラー選手がレギュラー以外の選手に比べて有意に優れていたのは、静止視力ではなく、奥行き知覚に関連する指標の一つとされている深視力であったことや (斉藤ほか, 1997; 木村ほか, 2012)、シュート成功率と深視力との間

に有意な相関がみられたことが示されている (斉藤ほか, 1997; 竹内ほか, 2000)。

上で述べたような奥行き知覚に用いられる手がかりには、単眼性のものと両眼性のものがある。両眼立体視能力が高い者は捕球技能に優れることや (Mazyn et al., 2004)、捕球技能の学習効果が高いことから (Mazyn et al., 2007)、球技であるバスケットボールにおいても、選手がプレーを行う実際の視空間での知覚-運動行動を考慮すると、両眼性の奥行き手がかりが重要であると考えられる。両眼性の奥行き手がかりとしては、両眼視差や輻輳角 (両眼の視線方向のなす角) が重要な情報として用いられる (e.g., Howard and Rogers, 2002)。

ここで、スポーツ選手を対象に眼球運動の指標を測定したこれまでの研究を概観すると、運動選手が非運動選手に比べて潜時が短いことや (e.g., Di Russo et al., 2003; Zhang and Watanabe, 2005)、ピーク速度が速いこと (Zwierko et al., 2019) が報告されている。バスケットボール選手を対象に実際のプレー中の注視行動を調べた研究からは、シュートを行う際、リリース前に注視を安定させることの重要性が示唆されている (Klostermann et al., 2018; 小郷ほか, 1990; Vickers, 1996)。また、実環境下でのプレー中の意思決定に注視が関係していることも示されている (e.g., van Maarseveen et al., 2018)。これらの研究では、左右および上下方向への注視移動 (共同性眼球運動) が検討されてきた。一方で、球技スポーツの場面では、選手から見て様々な距離に位置する対象物に素早く注視を移動させることもあるため、奥行き方向への注視移動 (非共同性眼球運動) も考慮する必要があると考えられる。しかしながら、眼球運動を調べた先行研究のほとんどは、単眼のみの分析、あるいは左右両眼のデータを平均した形での分析を行っているため、スポーツ選手における奥行き方向への注視移動の際に用いられる輻輳開散運動については、これまでほとんど検討が行われていないという問題がある。

輻輳開散運動の潜時（反応時間）とスリーポイントシュートのパフォーマンスとの関係を調査した研究（國部ほか，2018）では，平均シュート成功率が高い選手は，開散眼球運動における非利き目の潜時が短いという相関関係が報告されている。このことは，シュート技能に優れたバスケットボール選手が，遠方への注視移動を素早く開始できることを示唆している。しかし，この研究では，大学女子バスケットボールチームの中で公式試合においてメンバー登録された経験を有する選手のみが対象者となっているため，より多くの選手を対象にした比較が行われていない。

以上のことから，本研究では，大学男女バスケットボール選手を対象に，奥行き方向への素早い注視移動を行う際に用いられる輻輳開散運動の潜時および速度を調べることを目的とした。本研究における仮説として，バスケットボール選手は競技場面において奥行き方向への注視移動を素早く行うことが求められることから，より多くの試合経験を有するバスケットボール選手は，輻輳開散運動の潜時が短いことが考えられた。

2. 方法

2.1 研究対象者

本研究では，大学バスケットボールチームに所属する女子選手39名，男子選手44名，計83名を対象者とした。そのうち，輻輳開散運動の測定をうまく行えなかった6名の対象者（女子選手4名，男子選手2名）を除いた，女子選手35名（ 19.7 ± 1.3 歳；平均 \pm SD），男子選手42名（ 20.1 ± 1.0 歳），計77名のデータを本研究における分析対象とした。本研究で対象としたチームはそれぞれ所属地域において一部リーグ（女子）および二部リーグ（男子）に所属していた。対象者には事前に本研究の目的，方法，測定項目，個人情報保護などの概要を書面ならびに口頭にて説明し，研究参加への同意を得た。なお本研究は，測定が実施された大学における研究倫理審査を受け，承認を得た上で実施された。

2.2 研究対象者の群分け

先行研究（木村ほか，2012；斉藤ほか，1997）では，大学バスケットボール選手を，主要な公式試合への出場経験の有無により2つのグループに分類した。本研究ではこれらの分類方法に準じて群分けを行った。対象者が所属する各チームでは，監督およびコーチングスタッフが，練習時に実施しているシュートテスト（1日100試行）の成功率，体力測定の結果，および競技に求められる各基礎スキルの習得，戦術理解，状況判断等）に関するスタッフによる10段階評価をもとに各選手を総合的に判断してAチームとBチームに分けている。Aチームは主要な公式試合においてチームを代表してメンバー登録され，試合への出場経験を有する選手31名（女子17名，男子14名， 20.2 ± 1.1 歳：以下，レギュラー群）であり，主に所属地域の大学生チームとの間で年間約30試合の公式試合の経験を有していた。Bチームはメンバー登録および公式試合への出場経験がない選手46名（女子18名，男子28名， 19.7 ± 1.1 歳：以下，非レギュラー群）であった。

2.3 実験装置

本研究では，実験室にて奥行き方向への注視移動を行う際の輻輳開散運動が測定された。実験中対象者は椅子に座り，テーブルに取り付けられた顔面固定器（EH-284，はんだや社製）により頭部位置が固定された。視覚ターゲットには，対象者の両眼と同じ高さに調節された黄色LED（直径3mm）を用いた。各LEDは，棒状のアルミフレーム（直径12mm）の最上部に対象者と正対する方向で固定されており，対象者の両眼の中央から奥行き方向へ20cmおよび150cmの距離に設置された（Figure 1）。なお，各LEDの位置は，先行研究（國部ほか，2018；Yang and Kapoula，2004）と同様であった。LEDの点灯および消灯のタイミングに関しては，自作の電子回路に組み込んだマイクロコンピュータ（PIC16F84，Microchip社製）内に予めプログラミングすることにより制御した。

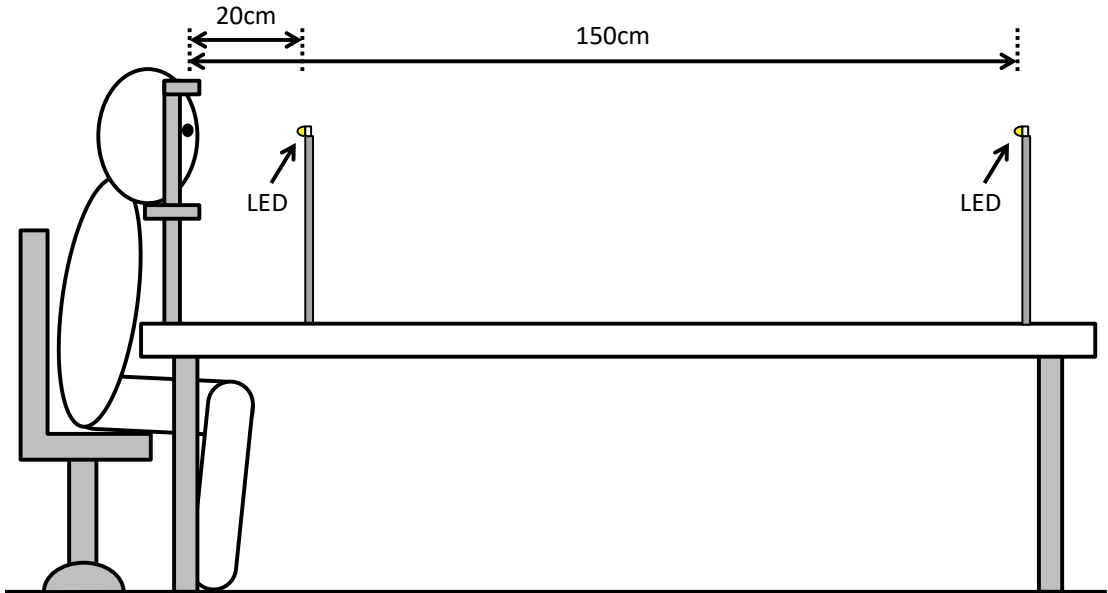


Figure 1. Experimental setup.

輻輳開散運動の測定には眼電図 (Electro-oculogram: EOG) を用い、眼球運動の水平方向成分を左右各眼で個別に測定した。電極には、小型の Ag-AgCl ディスポーザブル生体電極 (N-03JS3, 日本光電社製) を用いた。電極の貼付位置は、対象者の両側外眼角を結ぶ水平線上の眼窩縁内側および外側の 4 か所、および額部 (基準電極) であった (Figure 2)。

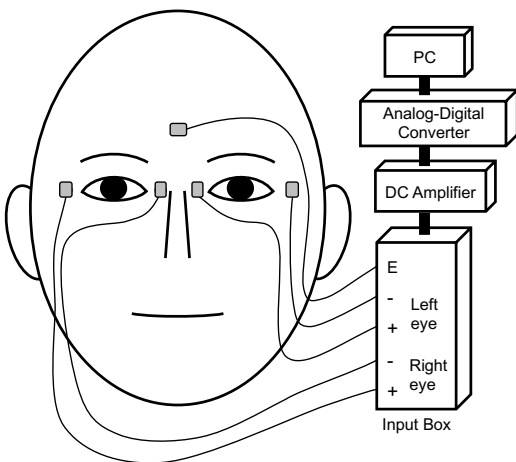


Figure 2. EOG electrode placements and recording systems.

導出した左右各眼の EOG は、2 台の直流増幅器 (AN-601G, 日本光電社製) によりそれぞれ増幅され、アナログ-デジタル変換器 (PowerLab 16/30, ADInstruments 社製) を通し、パーソナルコンピュータに毎秒 1000 サンプルのデータとして記録された。

2.4 実験手続き

まず対象者に実験の概要を説明し、両眼間距離の測定と生体電極の貼付を行った。その後、対象者は暗室下で椅子に座り、頭部位置を固定した状態で準備した。試行開始に先立って、EOG の較正が行われた。対象者には、2 秒間隔で交互に点灯する 2 つの LED を順に注視するように教示した。注視移動は計 4 回行われ、その際の電位変化が記録された。

本試行は、EOG の較正終了 4 秒後に開始された。対象者は各試行において、2 か所の LED のうち点灯した一方の LED を注視して準備した。2~3 秒 (2, 2.2, 2.4, 2.6, 2.8, 3 秒) のランダム間隔後に、注視した LED が消灯すると同時に他方の LED が 2 秒間点灯した。対象者には、点灯した LED の位置へできるだけ早く注視移動を行うことで反応するよう教示し

た. なお, 瞬目については, 注視移動を完了してから次の試行開始までの間に行うこととし, 反応準備中および注視移動中には行わないように教示した. 次の試行は, LEDが消灯してから2.5秒後に開始され, 直前の試行と逆の順序でLEDが点灯した. この要領で, 奥から手前への注視移動と手前から奥への注視移動が交互に行われた. 12試行を1ブロックとし, 各対象者は計2ブロック(24試行)を行った. ブロック間には約3分間の休憩を設けた. 測定に要した時間は, 対象者1人あたり約15分であった.

2.5 データ分析

本研究では, 左右眼のEOGデータをもとに輻輳角(左眼と右眼の視線方向のなす角; Figure 3a)の変化を算出し, 点灯したLEDの位置へ注視移動を行う際に観察された輻輳運動と開散運動のそれぞれについて, 潜時とピーク速度の分析を行った. 以下に分析の手続きを示す.

まず, 各ブロックの試行開始前に行われたEOGの較正データをもとに, 注視移動時の輻輳角変化(°)とEOGの電位変化(V)との対応関係を求めた. 輻輳角変化については, 対象者の両眼間距離と2か所のLEDの位置をもとに算出した. 両眼間距離の平均は63mm(男子64mm, 女子62mm)であったため, 150cmのLEDを注視する際の輻輳角は平均2.4°, 20cmのLEDを注視する際の輻輳角は平均17.9°となり, 輻輳角変化は平均15.5°であった. EOGの電位変化については, 左右各眼の電位変化(右方向への変位: 正, 左方向への変位: 負)をもとに, |左眼の電位変化 - 右眼の電位変化| (差分の絶対値)を求め, 4回の平均値として算出した.

次に, 各試行における輻輳開散運動の潜時およびピーク速度を分析した(Figure 3b,c). 得られたEOGデータに対し, 位相ずれのない2次のバターワース型ローパスフィルタ(カットオフ周波数12Hz)をかけ, 高周波成分を除去した. 上記の較正にて算出した対応関係を

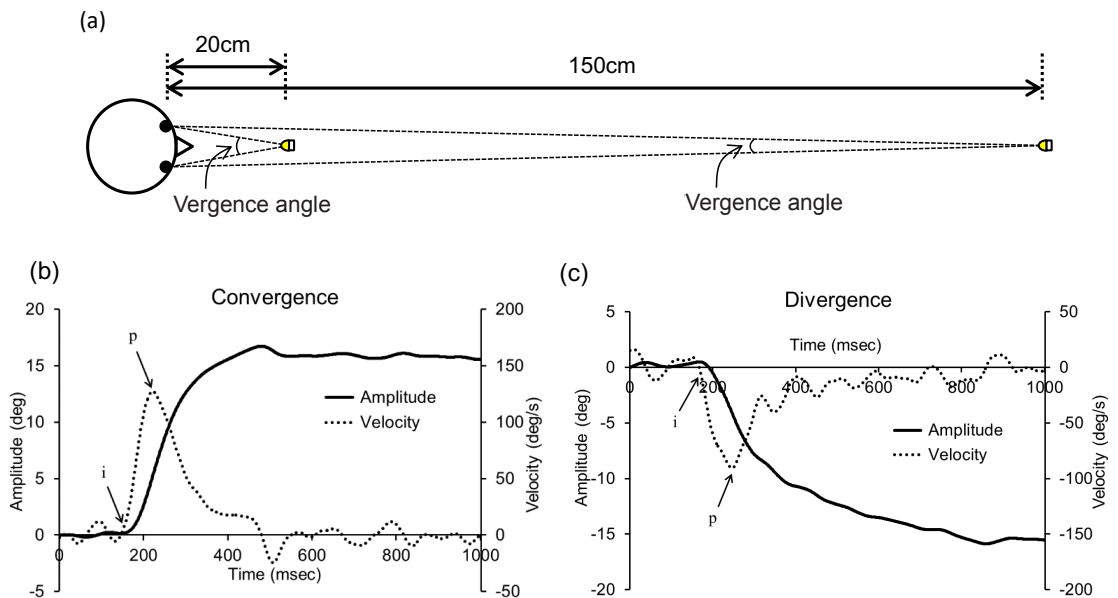


Figure 3. Schematic explanation of the vergence angle (a) and typical recordings of convergence (b) and divergence (c) eye movements. Vergence amplitudes with their corresponding velocities plotted at different scales are obtained by difference of the position signal between the two eyes (left eye - right eye). Arrows indicate the initiation (i) and the peak velocity (p) of vergence.

もとに、EOGの電位変化(V)を輻輳角変化(°)に変換した後、単位時間当たりの輻輳角変化(°/s)を微分により計算し、速度データとした。先行研究(e.g., Yang and Kapoula, 2004)の基準に従い、5°/sを輻輳開散運動開始の閾値として設定し、LEDの点灯から輻輳開散運動開始までの時間を潜時として定義した。また、輻輳開散運動の速度データの最大値をピーク速度として定義した。各対象者における潜時およびピーク速度の平均値を、輻輳運動と開散運動のそれぞれについて算出した。

なお、反応準備中(反応LEDが点灯する0.5秒前)から注視移動が完了するまでの間に瞬目が起こった試行は分析から除外された。また、LEDが提示された方向と逆方向への注視移動が起こった試行や、潜時が100msより短い試行あるいは1000msより長い試行についても分析から除外された(Yang et al., 2002)。

2.6 統計検定

各対象者において算出した、輻輳運動および開散運動の潜時およびピーク速度の平均値を従属変数とし、性別(女子, 男子の2水準)および群(レギュラー群, 非レギュラー群の2水準)を被験者間要因、眼球運動方向(輻輳運動, 開散運動の2水準)を被験者内要因とする、

2 × 2 × 2の混合計画の三元配置分散分析を用いて各要因の主効果および要因間の交互作用について検定を行った。有意な交互作用がみられた場合は、下位検定を行った。統計解析にはSPSS24.0(IBM社製)を用い、すべての統計検定における有意水準は5%とした。

3. 結果

3.1 潜時

Table 1に、各群における輻輳開散運動の潜時の平均および標準偏差を示し、Table 2に、潜時に関する三元配置分散分析表を示す。またFigure 4に、(a)性別、(b)群、(c)眼球運動方向ごとの潜時を示す。

Table 1. Mean and standard deviation (SD) of convergence and divergence latency.

	n	Latency (ms)			
		Convergence		Divergence	
		Mean	SD	Mean	SD
Female					
Regular	17	190	22	187	28
Non-regular	18	202	35	197	28
Male					
Regular	14	185	30	173	27
Non-regular	28	195	29	200	26

Table 2. Analysis of variance table for the data of vergence latency.

Source	SS	df	MS	F	p	η_p^2
Between-subjects						
Gender	1292.2	1	1292.2	1.31	.26	.02
Group	8042.4	1	8042.4	8.18	< .01	.10
Gender * Group	548.9	1	548.9	0.56	.46	.01
Error	71755.7	73	983.0			
Within-subjects						
Gaze direction	539.5	1	539.5	0.85	.36	.01
Gaze direction * Gender	3.1	1	3.1	0.01	.94	.00
Gaze direction * Group	626.9	1	626.9	0.99	.32	.01
Gaze direction * Gender * Group	770.5	1	770.5	1.22	.27	.02
Error	46227.9	73	633.3			

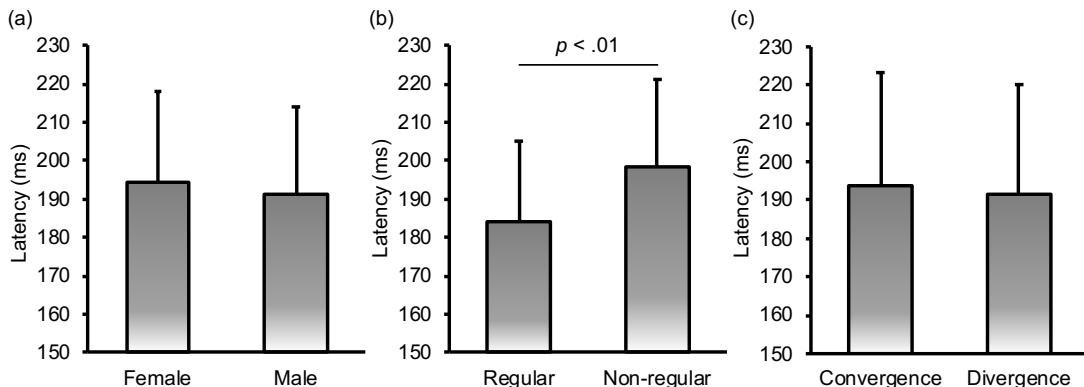


Figure 4. Mean vergence latency as functions of gender (a), group (b), and gaze direction (c). Error bars represent standard deviation.

分散分析の結果、群に有意な主効果が認められ ($F(1, 73) = 8.18, p < .01, \eta_p^2 = .10$), レギュラー群 ($184 \pm 21\text{ms}$; 平均 \pm SD) は非レギュラー群 ($198 \pm 23\text{ms}$) に比べて輻輳開散運動の潜時が短いことが示された (Figure 4b). 一方、性別の主効果は有意でなく ($F(1, 73) = 1.31, p = .26, \eta_p^2 = .02$), 女子選手 ($194 \pm 24\text{ms}$) と男子選手 ($191 \pm 23\text{ms}$) の潜時間に差は認められなかった (Figure 4a). また、眼球運動方向についても有意な主効果はみられず ($F(1, 73) = 0.85, p = .36, \eta_p^2 = .01$), 輻輳運動 ($194 \pm 29\text{ms}$) と開散運動 ($191 \pm 29\text{ms}$) の潜時間に差は認められなかった (Figure 4c). さらに、いずれの要因間の交互作用も有意ではなかった.

3.2 ピーク速度

Table 3 に、各群における輻輳開散運動のピーク速度の平均および標準偏差を示し、Table 4 に、ピーク速度に関する三元配置分散分析表を示す。また Figure 5 に、(a) 性別、(b) 群、(c) 眼球運動方向ごとのピーク速度を示す。

分散分析の結果、眼球運動方向の主効果が有意であり ($F(1, 73) = 22.1, p < .001, \eta_p^2 = .23$), 輻輳運動 ($153 \pm 47^\circ/\text{s}$) が開散運動 ($119 \pm 56^\circ/\text{s}$) に比べて大きいピーク速度を示した (Figure 5c). 一方、性別の主効果は有意でなく ($F(1, 73) = 1.01, p = .32, \eta_p^2 = .01$), 女

子選手 ($143 \pm 52^\circ/\text{s}$) と男子選手 ($130 \pm 33^\circ/\text{s}$) のピーク速度間に差は認められなかった (Figure 5a). また、群についても有意な主効果はみられず ($F(1, 73) = 0.92, p = .34, \eta_p^2 = .01$), レギュラー群 ($143 \pm 47^\circ/\text{s}$) と非レギュラー群 ($131 \pm 39^\circ/\text{s}$) のピーク速度間に差は認められなかった (Figure 5b). さらに、いずれの要因間の交互作用も有意ではなかった.

Table 3. Mean and standard deviation (SD) of convergence and divergence peak velocity.

	n	Peak velocity (deg/s)			
		Convergence		Divergence	
		Mean	SD	Mean	SD
Female					
Regular	17	152	63	134	66
Non-regular	18	160	47	127	74
Male					
Regular	14	158	37	127	56
Non-regular	28	146	40	101	28

Table 4. Analysis of variance table for the data of vergence peak velocity.

Source	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η_p^2
Between-subjects						
Gender	3701.3	1	3701.3	1.01	.32	.01
Group	3339.2	1	3339.2	0.92	.34	.01
Gender * Group	3579.4	1	3579.4	0.98	.33	.01
Error	266265.3	73	3647.5			
Within-subjects						
Gaze direction	36678.5	1	36678.5	22.1	< .001	.23
Gaze direction * Gender	1389.3	1	1389.3	0.84	.36	.01
Gaze direction * Group	1885.8	1	1885.8	1.13	.29	.02
Gaze direction * Gender * Group	7.0	1	7.0	0.00	.95	.00
Error	121323.1	73	1662.0			

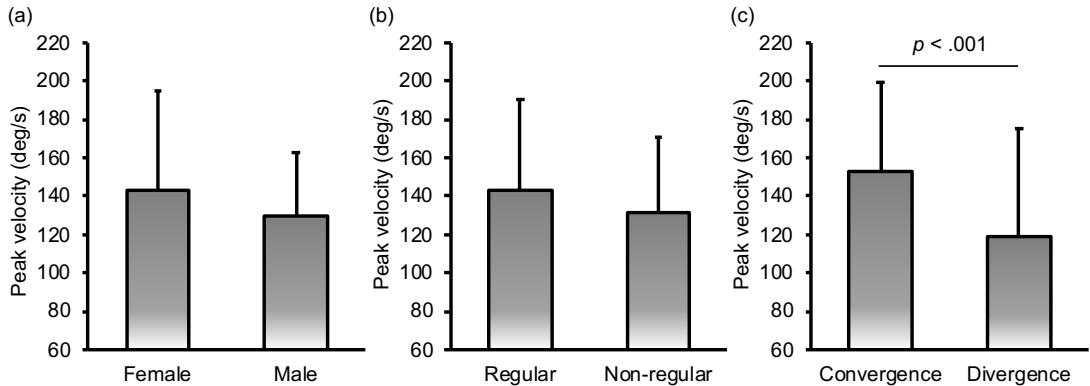


Figure 5. Mean vergence peak velocity as functions of gender (a), group (b), and gaze direction (c). Error bars represent standard deviation.

4. 考察

本研究では、大学生男女バスケットボール選手を対象に、奥行き方向への注視移動を行う際に用いられる輻輳開散運動の潜時および速度を調べることを主たる目的とした。潜時とピーク速度について、群（レギュラー群、非レギュラー群）、眼球運動方向（輻輳運動、開散運動）、性別（女子、男子）による差異を分析した。以下、本研究で得られた結果に関して考察を行う。

まず、群による比較に関しては、レギュラー選手は非レギュラー選手に比べて輻輳開散運動の潜時が短い結果となった (Figure 4b)。この結果は、より多くの試合出場経験を有す

るレギュラー選手が奥行き方向への注視移動をより素早く開始していたことを示している。眼球運動の潜時には、眼球運動開始直前における注意状態が影響を与えるとされており、スポーツ選手を対象にしたこれまでの研究では、共同性眼球運動のなかでも高速の眼球運動であるサッケードの潜時が短いことが示されてきた (e.g., Di Russo et al., 2003; Zhang and Watanabe, 2005)。このような左右および上下方向への注視移動に関する知見に加えて、本研究の結果からは、より多くの試合経験を有する選手が、奥行き方向に対しても適切に注意を向けられることによって、非共同性眼球運動を用いた奥行き方向への注視移動をよ

り素早く開始できるということが考えられる。

シュート技能と奥行き方向の注視移動の関係について、大学女子バスケットボール選手を対象に検討した先行研究（國部ほか，2018）では、平均シュート成功率と、開散運動における非利き目の潜時との間に有意な負の相関関係がみられた。この結果から、素早く遠方の対象物（リング）へ注視移動を行えることが、高いシュート技能と関係していることが示唆されている。ただし、この研究ではレギュラー選手のみが対象となっていた。本研究では、より多くの選手を対象に比較を行うことにより、これまでの先行研究に加えて、バスケットボール競技を行う上で奥行き方向の注視移動を素早く行えることの重要性が示唆された。

このような、素早く注視移動を行うことの重要性については、実際のプレー中の注視を調査した先行研究からも主張されている。例えば、実環境下でのジャンプシュート時の注視を測定した研究において、シュート前の早い時期にリングへ注視を向けて安定させられることがパフォーマンスの成功と関係していることが示されている（Klostermann et al., 2018）。また、バスケットボールを含む複数の球技選手を対象に両眼視のトレーニング効果を検討した研究から、両眼視機能はトレーニングを行うことにより向上しうることが示唆されている（Zwierko et al., 2015）。これらを踏まえると、本研究の結果から、バスケットボール競技に関する日常的なトレーニングや試合経験を通して、レギュラー選手は非レギュラー選手に比べてより素早い注視移動ができるようになったことや、両眼視機能をより向上させたことが、本研究において短い潜時が観察された理由として考えられる。ただし、本研究では同一の対象者に対して縦断的な測定を行っていないため、レギュラー選手がもともと奥行き方向の注視移動を素早く始めていた可能性も否定できない。したがって、トレーニングによる技能レベルの向上に伴い、輻輳開散運動の潜時に変化がみられるかについて明らかにするためには、継続的な測定を

行うことで検討していく必要がある。

一方で、輻輳開散運動のピーク速度に関しては、群による主効果が認められなかった（Figure 5b）。眼球運動のピーク速度は疲労による影響を受けて遅くなるのが、一般成人を対象にしたサッケード（Zargari Marandi et al., 2018）および輻輳開散運動（Yuan and Semmlow, 2000）において観察されている。しかし本研究では、安静状態で眼球運動が測定され、試行数も先行研究と比べて多くなかったため、疲労による影響については考えにくい。輻輳開散運動の速度は、中脳にある輻輳開散運動関連ニューロンの発火頻度と関係していることが示唆されている（e.g., Mays et al., 1986）。本研究の結果をもとに考えると、眼球運動速度に関連するこれらの神経系の活動に関して、本研究で対象とした大学生選手においては、群間の差異はみられないことが推察される。

次に、眼球運動方向による比較に関しては、輻輳運動のピーク速度が開散運動のピーク速度よりも高い値を示した（Figure 5c）。この結果は、一般成人を対象に輻輳運動が開散運動よりピーク速度が大きいことを示した多くの先行研究（e.g., Erkelens and Bobier, 2017; Hung et al., 1997; Yang and Kapoula, 2004）による結果と類似するものであった。本研究から、バスケットボール選手においても、奥から手前へ注視を移動させる際の眼球運動のほうが、手前から奥へ注視を移動させるよりも速いピーク速度を有することが示された。

一方、輻輳運動と開散運動の間に潜時の差はみられなかった（Figure 4c）。先行研究では、輻輳運動が開散運動より潜時が短いという研究（Erkelens and Bobier, 2017; Hung et al., 1997; Semmlow and Wetzell, 1979）と、開散運動が輻輳運動より潜時が短いという研究（Alvarez et al., 2002; Krishnan et al., 1973; Yang et al., 2002）、および対象者により異なる報告している研究（Takagi et al., 1995）というように、一致した見解が得られていない。本研究では、これらの先行研究とは異なり、

競技選手を対象に輻輳開散運動を測定したが、群と眼球運動方向との間に有意な交互作用がみられなかったことから、輻輳運動および開散運動の潜時差には群による影響がなかったことが考えられる。

なお、本研究では、男女差は輻輳開散運動のいずれの指標においても認められなかった (Figure 4a, 5a)。年齢による差を検討した先行研究は散見され、例えば子どもは成人より輻輳開散運動の潜時が長いことや (Yang et al., 2002)、子どもと成人のピーク速度に差がみられないこと (Yang and Kapoula, 2004) などが示されてきた。しかしながら、素早い眼球運動に関わる神経経路や各種指標の男女差に関して報告した研究はこれまでにみられない (Fujiwara et al., 2000)。また、本研究の結果では、性別と群との間に交互作用がなかったことから、群間にみられた有意な潜時差は、男女に共通したものであったと考えられる。つまり、大学生バスケットボール選手の潜時に影響を与える要因としては、性別ではなく、試合出場経験によるものが大きかったことが考えられる。

以上本研究の結果から、より多くの試合経験を有するバスケットボール選手は、奥行き方向への注視移動を素早く行えることが新たに示唆された。プロバスケットボール選手を対象に、3次元での多物体追跡 (Multiple Object Tracking: MOT) 課題を用いてプレーとの関係を検討した研究によると、プレー成績が良い選手は、3次元空間を高速で移動する物体を追跡する能力に優れることが示唆されているが (Mangine et al., 2014)、輻輳開散運動の測定や検討は行われていなかった。本研究では、スポーツ選手の輻輳開散運動を実際に測定することにより、潜時や速度に関する新たな知見が得られた。今後は、視覚を用いた空間把握が重要となる様々なスポーツ選手における両眼眼球運動の特性について調査し、技能レベルとの関係について検討していくことにより、奥行き方向を含めた空間内での注視や注意の影響を明らかにしていくことが課題である。

5. まとめ

本研究の目的は、大学生バスケットボール選手を対象に、奥行き方向への注視移動を行う際に用いられる輻輳開散運動の潜時および速度について検討することであった。本研究では、大学バスケットボール部に所属する77名 (女子35名、男子42名) のデータを対象に分析を行った。選手は、レギュラー群31名 (女子17名、男子14名) と非レギュラー群46名 (女子18名、男子28名) の2群に分類された。輻輳開散運動を測定する実験において、対象者は20cmおよび150cmの距離に設置されたLEDの点灯に対し、できるだけ早く注視移動を行った。眼電図を用いて左右眼の水平方向の運動がそれぞれ記録され、輻輳開散運動の指標として潜時およびピーク速度が算出された。これらの指標における群、眼球運動方向、性別による差異について検討した。分散分析の結果、レギュラー選手は非レギュラー選手より輻輳開散運動の潜時が短いことが示された。ピーク速度においては、先行研究と同様、輻輳運動が開散運動よりも高い値を示した。輻輳開散運動の各指標における性差はみられなかった。本研究の結果から、より多くの試合経験を有するバスケットボール選手は、奥行き方向への注視移動を素早く開始できることが示唆された。

6. 参考文献

- Allard, F., Graham, S., and Paarsalu, M. E. (1980) Perception in sport: Basketball. *Journal of Sport Psychology*, 2: 14-21.
- Alvarez, T. L., Semmlow, J. L., Yuan, W. H., and Munoz, P. (2002) Comparison of disparity vergence system responses to predictable and non-predictable stimulations. *Current Psychology of Cognition*, 21: 243-261.
- Di Russo, F., Pitzalis, S., and Spinelli, D. (2003) Fixation stability and saccadic latency in elite shooters. *Vision Research*, 43: 1837-1845.
- Erkelens, I. M. and Bobier, W. R. (2017) Asymmetries between convergence and divergence reveal

- tonic vergence is dependent upon phasic vergence function. *Journal of Vision*, 17: 4.
- Fujiwara, K., Kunita, K., and Toyama, H. (2000) Changes in saccadic reaction time while maintaining neck flexion in men and women. *European Journal of Applied Physiology*, 81: 317-324.
- Howard, I. P. and Rogers, B. J. (2002) Seeing in depth. Vol. 2: Depth perception. I. Porteous: Toronto.
- Hung, G. K., Zhu, H., and Ciuffreda, K. J. (1997) Convergence and divergence exhibit different response characteristics to symmetric stimuli. *Vision Research*, 37: 1197-1205.
- Isaacs, L. D. (1981) Relationship between depth perception and basketball-shooting performance over a competitive season. *Perceptual and Motor Skills*, 53: 554.
- 木村 準・東 亜弓・國部雅大・山田なおみ・三根由香理・中大路哲 (2012) 大学女子バスケットボール選手の競技パフォーマンスと静止視力および深視力の関連性. *大阪体育大学紀要*, 43: 1-9.
- Kioumourtzoglou, E., Derri, V., Tzetzis, G., and Theodorakis, Y. (1998a) Cognitive, perceptual, and motor abilities in skilled basketball performance. *Perceptual and Motor Skills*, 86: 771-786.
- Kioumourtzoglou, E., Kourtessis, T., Michalopoulou, M., and Derri, V. (1998b) Differences in several perceptual abilities between experts and novices in basketball, volleyball and water-polo. *Perceptual and Motor Skills*, 86: 899-912.
- Klostermann, A., Panchuk, D., and Farrow, D. (2018) Perception-action coupling in complex game play: Exploring the quiet eye in contested basketball jump shots. *Journal of Sports Sciences*, 36: 1054-1060.
- 國部雅大・東 亜弓・村上なおみ・荒木雅信 (2018) 大学女子バスケットボール選手における輻輳および開散眼球運動の潜時とシュートパフォーマンスとの関係. *筑波大学体育系紀要*, 41: 1-6.
- Krishnan, V. V., Farazian, F., and Stark, L. (1973) An analysis of latencies and prediction in the fusional vergence system. *American Journal of Optometry and Archives of American Academy of Optometry*, 50: 933-939.
- Mangine, G. T., Hoffman, J. R., Wells, A. J., et al. (2014) Visual tracking speed is related to basketball-specific measures of performance in NBA players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28: 2406-2414.
- Mays, L. E., Porter, J. D., Gamlin, P. D., and Tello, C. A. (1986) Neural control of vergence eye movements: neurons encoding vergence velocity. *Journal of Neurophysiology*, 56: 1007-1021.
- Mazyn, L. I. N., Lenoir, M., Montagne, G., and Savelsbergh, G. J. P. (2004) The contribution of stereo vision to one-handed catching. *Experimental Brain Research*, 157: 383-390.
- Mazyn, L. I. N., Lenoir, M., Montagne, G., Delaey, C., and Savelsbergh, G. J. P. (2007) Stereo vision enhances the learning of a catching skill. *Experimental Brain Research*, 179: 723-726.
- 小郷克敏・上原 泰・錦井利臣 (1990) 動作中の眼球運動と運動成果の関係: バスケットボールのシュートについて. *熊本大学教育学部紀要, 自然科学*, 39: 61-67.
- Ryu, D., Abernethy, B., Mann, D. L., Poolton, J. M., and Gorman, A. D. (2013) The role of central and peripheral vision in expert decision-making. *Perception*, 42: 591-607.
- 斉藤和人・清水信行・坂元貴之・森田秀介・石垣尚男 (1997) 大学男子バスケットボール選手のフリースローの確率とスポーツビジョン. *鹿屋体育大学学術研究紀要*, 18: 1-5.
- Semmlow, J. and Wetzell, P. (1979) Dynamic contributions of the components of binocular vergence. *Journal of the Optical Society of America*, 69: 639-645.
- Sillero Quintana, M., Refoyo Roman, I., Lorenzo Calvo, A., and Sampedro Molinuevo, J. (2007) Perceptual visual skills in young highly skilled basketball players. *Perceptual and Motor Skills*, 104: 547-561.

- Singh, V. K. and Agashe, C. D. (2015) Effect of information processing and depth perception upon throwing accuracy of basketball players. *Physical Education of Students*, 19(2): 37-42.
- Starkes, J., Allard, F., Lindley, S., and Oreilly, K. (1994) Abilities and skill in basketball. *International Journal of Sport Psychology*, 25: 249-265.
- Takagi, M., Frohman, E. M., and Zee, D. S. (1995) Gap-overlap effects on latencies of saccades, vergence and combined vergence-saccades in humans. *Vision Research*, 35: 3373-3388.
- 竹内敏康・青木和浩・東根明人・花岡 大・吉儀宏 (2000) 大学男子バスケットボール選手の視機能に関する研究. *順天堂大学スポーツ健康科学研究*, 4: 155-162.
- van Maarseveen, M. J. J., Savelsbergh, G. J. P., and Oudejans, R. R. D. (2018) In situ examination of decision-making skills and gaze behaviour of basketball players. *Human Movement Science*, 57: 205-216.
- Vickers, J. N. (1996) Control of visual attention during the basketball free throw. *The American Journal of Sports Medicine*, 24: S93-97.
- Yang, Q., Bucci, M. P., and Kapoula, Z. (2002) The latency of saccades, vergence, and combined eye movements in children and in adults. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 43: 2939-2949.
- Yang, Q. and Kapoula, Z. (2004) Saccade-vergence dynamics and interaction in children and in adults. *Experimental Brain Research*, 156: 212-223.
- Yuan, W. and Semmlow, J. L. (2000) The influence of repetitive eye movements on vergence performance. *Vision Research*, 40: 3089-3098.
- Zargari Marandi, R., Madeleine, P., Omland, O., Vuillerme, N., and Samani, A. (2018) Eye movement characteristics reflected fatigue development in both young and elderly individuals. *Scientific Reports*, 8: 13148.
- Zhang, J. and Watanabe, K. (2005) Differences in saccadic latency and express saccades between skilled and novice ball players in tracking predictable and unpredictable targets at two visual angles. *Perceptual and Motor Skills*, 100: 1127-1136.
- Zwierko, T., Puchalska-Niedbal, L., Krzepota, J., et al. (2015) The Effects of Sports Vision Training on Binocular Vision Function in Female University Athletes. *Journal of Human Kinetics*, 49: 287-296.
- Zwierko, T., Jedziniak, W., Florckiewicz, B., et al. (2019) Oculomotor dynamics in skilled soccer players: The effects of sport expertise and strenuous physical effort. *European Journal of Sport Science*, 19: 612-620.
- (2019年3月21日受付, 2019年7月4日受理)