

【論文】

あん馬における両足旋回中の視線行動

Gaze Behavior during Circles on Pommel Horse

佐藤 佑介
Sato Yusuke

目次

- 1 序論
- 2 方法
 - (1) 参加者
 - (2) 実験環境
 - (3) 実験課題
 - (4) 実験手順
 - (5) 頭部運動と眼球運動の分析
 - (6) 指導者と審判員による評価
 - (7) 分析した変数
- 3 結果
 - (1) 両足旋回時間, 固視時間, 固視回数
 - (2) VASと連続した両足旋回中の固視時間およびスコアの相関関係
- 4 考察
- 5 まとめ

要旨

あん馬における両足旋回は、バランスを維持することが難しい運動である。バランスを維持するために視覚情報が役立つことが明らかにされている。しかしながら、両足旋回の間、バランスを維持するために体操選手がどのように視覚情報を収集しているのかは明らかにされていない。そこで本研究の目的は、両足旋回の中に体操選手が行う視線行動を明らかにすることであった。参加者は、14名の熟練した体操選手であった。体操選手は、あん馬において30週の連続した両足旋回を行った。その際、体操選手の眼球運動が測定された。その結果、体操選手は両足旋回のおよそ82%の時間にわたり視線を安定させていることが示された。クレストフニコフ(1978)が言及していたあん馬における視線の安

定に関して、その定量的なデータを取得することができた。このようにして取得されたデータは、トレーニング現場にとって有益なものとなるかもしれない。本研究では、両足旋回中の眼球運動が、選手のあん馬の競技力を評価する指標となり得ることも示された。

1 序論

男子の体操競技は、ゆか、あん馬、つり輪、跳馬、平行棒、鉄棒の6種目において、得点の優劣で競われるスポーツである。その得点は、選手が行った演技に対して、複数名の審判員によって付けられる。評価の基準は2つに大別される。1つは、選手が行った技の難しさである。もう1つは、選手が行った技の出来ばえである。この出来ばえとは、美しさや正確性、安定性などを意図する。前者の基準から採点されたスコアはDスコア、後者のものはEスコアと呼ばれ、その合計スコアが得点となる（公益財団法人日本体操協会、2017）。演技中に器具から落下して演技を中断したり、バランスを崩したりした場合には、Eスコアが低くなる。つまり、高得点を挙げるためには、それらの失敗を防ぐことが必須となる。

これらの種目の中で、そのような失敗の可能性が高く、最も難しい種目であると考えられているのがあん馬である（Cogan & Vidmar, 2000; Holvoet, 2011; Prassas et al., 2006）。その難しいと考えられている要因の1つに、この種目特有の技能である両足旋回が挙げられる。

両足旋回は、あん馬において最も基本的な技である。それは、この種目のほとんどの技が両足旋回を基礎として構成されている（Fujihara & Gervais, 2010）ことからわかる。この技の習得は、あん馬において優れた演技を実施するために最重要といえる（Fujihara et al., 2015）。

両足旋回とは、水平面上で行われる旋回運動である。あん馬においては把手と呼ばれる2つの部分を、両手で交互に握り替えながら行われる（Baudry et al., 2009）（Fig. 1 参照）。その旋回運動は、片腕で身体を支える局面と両腕で支える局面に分けられる（Baudry et al., 2003）。さらにそれらの局面は、それぞれ2つの局面に分類される。両腕で身体を支える局面は、身体正面において支持する局面（以下、正面支持局面とする）と背面で支持する局面（以下、背面支持局面とする）に分けられ、片腕で身体を支える局面は、片手を離して正面支持から背面支持へと移行する局面（以下、入れ局面とする）と、背面支持から正面支持へと移行する局面（以下、抜き局面とする）に分けられる。両足旋回は、これらの4つの局面を経て1周ととらえられる。両足旋回1周にかかる時間は、およそ0.95秒である（Fujihara & Gervais, 2010）。入れ局面（およそ0.38秒）や抜き局面（およそ0.37秒）は、正面支持局面（およそ0.10秒）や背面支持局面（およそ0.12秒）よりも長い（Baudry et al., 2003）。Baudry et al. (2003) が報告したこの両足旋回は把手を使ったものではないが、把手を使った両足旋回でも似通った時間経過をもつだろう。つまり、両足旋回は、両腕で支えている時間よりも片腕で支えている時間の方が長いといえる。片腕で身体を支える姿勢の不安定さを想像してみると、この運動の難しさを読み取ることができる。

それだけ難しい種目であるにもかかわらず、あん馬に関する研究はそれほど進んでいないようである (Grassi et al., 2005)。両足旋回について比較的多く報告されている知見が、バイオメカニクスの手法で明かされたものである。例えば Fujihara & Gervais (2013) は、両足旋回中の頭部位置と身体姿勢の関係を分析し、両者に相関があることを見出した。さらにその位置は、評価者が採点した得点とも相関があった。これらの知見から、彼らは頭部の位置を両足旋回のパフォーマンス評価に生かせると考えた。水島 (1998) は、両足旋回の上昇速度を上げることが、この運動中のつま先の軌跡を大きくすることにつながると報告している。両足旋回の大さは E スコアに関わるため、水島 (1998) の報告はこのスコアを高めるために有益な情報である。このように、選手の技術向上にとって有用なバイオメカニクスの知見は、少しずつ蓄積されている。

そのようにして明かされたものの 1 つに、熟練した体操選手はそうでない体操選手よりも、両腕で身体を支える時間が長い (Baudry et al., 2003) という知見がある。当然、片腕で支えている局面よりも、両腕で支えている局面の方がバランスを取りやすい。熟練していない体操選手は動的バランスに関わる能力が欠けているために、両腕で支える時間が長いかもしれない (Baudry et al., 2003)。

動的バランスとは、運動中に重心の安定や姿勢を維持することである (Butler et al., 2012; Eylon et al., 2017)。多くの研究者 (例えば、Salmela, 2011; Sands, 1999) がこの種目の実施に必要な能力として動的バランスを挙げていることから、この能力があん馬を行ううえでいかに重要なものなのかがうかがえる。そのことは、両足旋回中に片腕だけで身体を支えなければいけない場面を想像すれば容易に理解できる。この入れ局面や抜き局面という不安定な姿勢時においても、体操選手は動的バランスを維持する必要がある (Baudry et al., 2006)。この両足旋回中の運動や姿勢を分析し、それらの変数と動的バランスの関係について言及している研究 (Fujihara & Gervais, 2012) も見つけることができる。身体の重心位置が片腕で支えなければいけない 2 つの把手上に移動し続ける (Fujihara et al., 2009) なかで、雄大で姿勢の良い両足旋回を行うことが高い E スコアの獲得につながる (Fédération Internationale de Gymnastique, 2016)。

ここで着目したいのは、両足旋回中の視覚系活動である。この運動中の動的バランスは身体の姿勢や動きにより保たれているが、視覚系の働きにも大きく支えられているからである。バランスの制御に視覚情報が利用されている (中村ほか, 2003) ことは広く知られている。女子種目で使用される平均台上での歩行を動的バランス課題として、視覚情報とそのバランスの関係を検討した Robertson & Elliott (1996) は、体操選手であっても視覚を遮蔽することによって、台上での歩数や通常と異なる動きが増えることを報告した。すなわち、体操選手が動的バランスを維持することに、視覚情報が重要な役割を果たしているといえる。

このことから、両足旋回中に体操選手は視覚情報を利用することによりバランスを保っていることが推測される。そのことに気づき、両足旋回中の視覚系活動について研究を始めたのが クレストフニコフ (1978) である。彼は体操選手の視野を制限し、その状態でのあん馬の演技がどのように変化するかを丁寧に記述している。例えば、「体操選手

は把手を必ず見るものである。したがって、この運動を目を閉じて行うのは非常に困難であった。ひねりや旋回運動の調節は完全に行われなかった。」と視覚情報があん馬の演技に必須な情報であることを指摘している。興味深いのは、通常の視覚状況であん馬の演技を行った体操選手について、「被験者の頭は軽く下げられ、視軸は 1.5m にすえられた」と述べている点である。あん馬の演技中に、選手が視線を安定させていることを読み取ることができる。しかしながら、体操選手が両足旋回中に視線を安定させているかどうかを定量的に示した研究はこれまでに見当たらない。

もし両足旋回中に視線が安定しているのであれば、どのようにその視線安定が達成されているのだろうか。それを支えているのが眼球と頭部の協応運動 (Bizzi, 1974) である。体操競技にみられる後方かかえ込み宙返り (佐藤, 2008) やその場でのとび 1 回ひねり (Sato et al., 2017) といったダイナミックな運動中であつたとしても、眼球と頭部が巧みに協応することによって、空中で視線の安定がなされていることが報告されている。この視線が安定する局面において、体操選手は視覚情報を利用して姿勢を制御している (Berthoz & Pozzo, 1994) と考えられる。

そこで本研究では、両足旋回に対するスポーツ心理学的な知見の蓄積を目指し、熟練した体操選手における両足旋回中の眼球運動を測定することによって、この運動中の視線安定について定量的なデータを得ることを目的とした。熟練したスポーツ選手は、その運動を行ううえで重要な位置や物に、適切なタイミングで視線を向けること (例えば, Land & McLeod, 2000; Williams et al., 2002) が報告されている。本研究において、まだ未解明である両足旋回中の視線安定について熟練者を対象として検討することは、次ぐ研究課題の設定や両足旋回を練習中の選手を指導するうえでの資料作成に寄与するだろう。

さらに本研究では、両足旋回中の視線安定に関わるデータが、体操選手があん馬の演技においてバランスを崩すことを予測する指標となり得るかどうかについても検討する。両足旋回の繰り返しは、当然疲労を伴う (Fujihara & Gervais, 2012)。常に動き続ける必要があるこの種目において、演技の最後に最も高い心拍数を記録する (Jemni, 2011) ことも、そのことを表しているだろう。2018 年に開催された全日本体操競技選手権大会種目別あん馬決勝の上位 3 名における旋回運動の回数を確認したところ、その平均回数はおおよそ 30 周であった。このことから、高得点を挙げるためには少なくとも 30 週の両足旋回を連続して行える体力が体操選手には必要なかもしれない。

疲労が眼球運動に影響を与える可能性 (Abel et al., 1983; Leigh & Zee, 2015) が指摘されている。頸部の筋疲労が眼球運動に否定的な影響を及ぼすこと (三田ほか, 2016) も報告されている。また、疲労の蓄積がバランスを低下させること (Cetin et al., 2008; Richard et al., 1998) も明かされている。これらのことから、両足旋回を繰り返すことによる疲労の蓄積 (Fujihara & Gervais, 2012; Jemni, 2011) が、両足旋回の実施やその最中の眼球運動に何かしらの影響を与えることが考えられる。そこで本研究の目的を明らかにするとともに、両足旋回中の視線安定とあん馬の演技における安定性についても言及したい。まず本研究では、その視線安定があん馬の演技を行う選手の安定性に関する指導者の評価と関係するかどうかについて検討を進めた。



Fig. 1 A circle in side support (adapted from Fédération Internationale de Gymnastique, 2016)

2 方法

(1) 参加者

実験参加者は男子体操選手（以下、選手とする）21名であった。すべての選手が大学生であった。眼球運動データを算出した結果や視線の状況を確認した結果から、瞬き等の理由により極端に分析可能なデータが少ない（両足旋回時間全体の10%を超える）7名の選手を分析対象から除外した。分析対象となった選手14名の平均年齢（±標準偏差）は19.21（±1.12）歳であった。すべての選手が全国レベルの大会出場歴を有していた。競技歴（±標準偏差）は12.29（±2.79）年であった。

選手は、体操の練習時に着用するような動きやすい服装で実験に参加した。

実験に先立ち、選手は実験の目的や内容などについて、紙面と口頭にて十分に説明された。参加の意志が確認された後、実験参加同意書に自署した。なお、本研究は日本大学文理学部研究倫理委員会から研究実施の承認を得たものである。

(2) 実験環境

実験は、日本大学スポーツ科学部体操場にて行われた。この体操場には、体操の器具が常設されている。あん馬はこの体操場の中央付近に設置されていた。あん馬の正面には、着地マットやゆかが設置されていた。これらの上に、注視対象となるような物は置かれていなかった。あん馬の側方と後方には、デジタルビデオカメラ（SONY製FDR-AX40 120f/sec）が設置された（Fig. 2参照）。設置されたデジタルビデオカメラは合計で3台であった。

あん馬とデジタルビデオカメラの設置後、参加者が課題を行う範囲において126点の較正点が撮影された。

あん馬における両足旋回中の視線行動

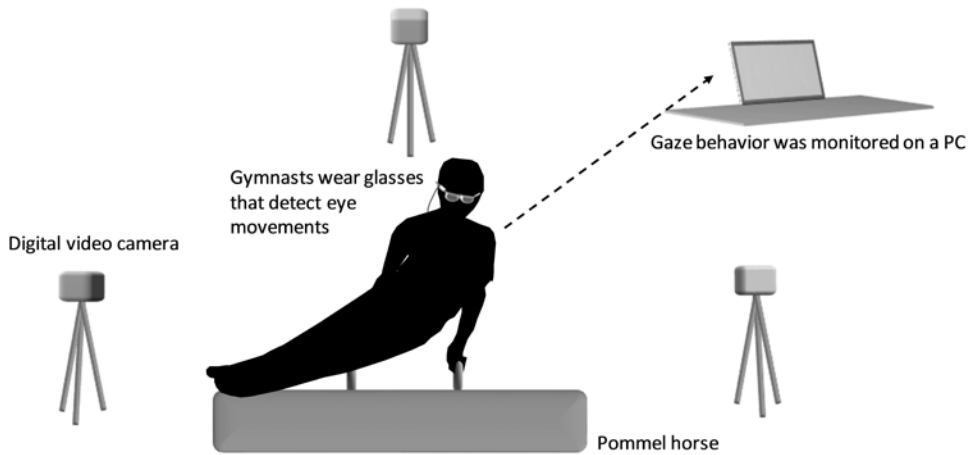


Fig. 2 Experimental environment

(3) 実験課題

実験課題は、あん馬での両足旋回を連続して30周行うことであった。この両足旋回は、あん馬の両把手を利用したものである (Fig. 1 参照)。

両足旋回は、男子体操競技の採点規則において、A 難度が与えられている (Fédération Internationale de Gymnastique, 2016)。体操競技のすべての技には、その実施の難しさから難度が与えられている。最も易しい技にはA 難度が与えられ、男子体操競技では最も難しい技にI 難度が与えられている。したがって、本実験課題である両足旋回は、あん馬において最も易しい技の1つであることがわかる。

30 周の両足旋回を課題とした理由は、全日本体操競技選手権大会や世界体操競技選手権大会などにおけるあん馬の演技を観察し、多くの選手が演技を開始してから終了するまでに、およそこの程度の両足旋回を演技に組み入れていたためであった。

(4) 実験手順

選手は体操場に集合し、年齢や競技歴などに関するフェイスシートを作成した。その後、ウォーミングアップを行う時間が確保された。十分にウォーミングアップを行った後、選手は身体各部位にマーカーが貼付された。

さらに、眼球運動を測定するためのメガネ型アイトラッカー (Tobii Technology 製 Tobii Pro Glasses 2 50Hz) (以下、グラスとする) が装着された。このグラスの重量は約 45g であるため、選手の動作に影響を与えるものではない。このグラスには眼球運動を測定するために4つの小型カメラがついている。得られた眼球運動データを記録する機器がレコーディングユニット (以下、記録部とする) である。この記録部は小型であるものの多少の重量がある (約 300g)。そのため、記録部は選手の背部にテープで固定された。この時、この記録部の位置が選手の動きを拘束しないことを確かめた。グラスは HDMI ケーブルによって記録部と接続された。ケーブルもテープで運動の邪魔にならない位置に固定

された。グラス装着後には、眼球運動データの較正を目的としてキャリブレーションが行われた。

選手は験者の合図の後、実際の大会と同様の両足旋回を30周行うことが指示された。途中で両足旋回を失敗してしまった場合には、十分な休息の後、再び課題を行った。

課題実施の直前には、光信号がデジタルビデオカメラに撮影されるのと同時に、電気信号が記録部へ送られた。眼球運動データとデジタルビデオカメラで撮影された映像の同期が、その目的であった。

課題を実施している最中には、グラス上のシーンカメラ（着用者の頭部に設置されたビデオカメラ）に映る視線の位置が験者により確認されていた。

課題実施後には、装着したグラスや記録部などが外された。

この実験は、選手1名ずつ行われた。選手ごとに決められた時間に集合した。1名あたりにおける実験の所要時間はおよそ30分であった。

(5) 頭部運動と眼球運動の分析

SDカードに記録された眼球運動データと映像は、PCに取り込まれた。その後、動作解析と眼球運動データ解析の2つ段階で分析が行われた。

撮影された映像から、動作解析ソフトウェア（DKH社製 Frame-DIAS V）によって頭頂部がデジタル化された。デジタル化されたデータから3次元DLT（Direct Linear Transformation）法により、その部位の3次元座標値が算出された。得られた座標値は、Butterworth Low-Pass Digital Filterを用いて平滑化された。その座標値から水平面上での位置を求めた。

眼球運動データは、専用の解析ソフトウェア（Tobii Technology製 Tobii Pro Lab）にて分析された。そのデータから、Tobii I-VT Attention filter（Herlitz, 2018）を用いることによって、固視時間が算出された。このフィルタを用いた方法は、眼球の回転速度から眼球運動の種類を分類し、それにより固視時間を算出することに役立つ（Tobii pro, 2018）。特定の位置に特定の時間にわたり視線が停留している状態を、固視と定義する方法もある（例えば、加藤・福田, 2002; Vickers, 2007）が、両足旋回を行うあん馬の正面には、視線を向ける対象物は何もない。そのため、視線を安定させるために行われる眼球運動の特性を生かし、その回転速度から固視を定義する方法は、本実験課題に最適だろう。そのような処理を通して、固視時間と固視回数が算出された。

(6) 指導者と審判員による評価

すべての選手を日常的に指導している指導者2名が、選手のあん馬におけるパフォーマンスについて Visual Analog Scale（以下、VASとする）を用いて評価した（Wewers & Lowe, 1990）。VASでは、各選手が「演技中に落下する」かどうかを問われ、0は落下すると指導者が考えていることを表し、10は落下しないと指導者が考えていることを表していた。近年、VASはスポーツにおけるパフォーマンス評価においても用いられ始めている（Zamparo et al., 2017）。本指導者は、国際大会に出場し、入賞した経験をもつ者であっ

た。当該種目の十分な競技歴をもつ熟練した者は、選手の熟練の度合いを適切に評価できる (Zamparo et al., 2017) ことが報告されている。本研究の指導者 2 名の VAS について、Pearson の積率相関係数を求めた結果、その相関係数は 0.55 であり、有意な相関関係が認められた ($p = 0.04$)。

また、著者を含む 2 名の審判員が、撮影された選手の両足旋回について男子体操競技の採点規則に則り (公益財団法人日本体操協会, 2017)、E スコア (以下、スコアとする) を算出した。両者ともに、体操競技男子 1 種公認審判員の資格を有していた。両者のスコアについて Pearson の積率相関係数を求めた結果、その相関係数は 0.98 であり、有意な相関関係が認められた ($p < 0.00$)。

(7) 分析した変数

算出された頭部の位置から、両足旋回 1 周を求めた。本研究では、背面支持局面において、頭部の位置が最も後方であった時点を両足旋回の開始と終了の定義に用いた。両足旋回 4 周を分析対象とした。すなわち、両足旋回 1 周目の開始から 5 周目の開始まで、6 周目開始から 10 周目開始、11 周目開始から 15 周目開始、16 周目開始から 20 周目開始、21 周目開始から 25 周目開始、26 周目開始から 30 周目開始までをそれぞれ 1 セットとした。

各セットについて、両足旋回的时间を求めるとともに、固視時間と固視回数を求めた。固視時間は両足旋回的时间に対する割合で示した (Heinen, 2011)。それらの変数について、すべてのセットの平均値と標準偏差を求めた。

VAS と固視時間の関係について、Pearson の積率相関係数を求めた。固視時間が長いことは、頭部が動いている状況においても視野が安定している状態が長いことを示している。固視がバランス能力を向上させる (例えば、Laurens et al., 2010; Schulmann et al., 1987) ことが報告されていることから、両者に相関関係が見出される可能性が考えられる。また、VAS とスコアについても Pearson の積率相関係数を求めた。この時の固視時間は 1 セットずつのものであった。その統計処理に用いた VAS とスコアは、2 名の評価者の平均値のものであった。

統計処理には、統計処理ソフトウェア SPSS (IBM SPSS Statistics 22) を使用した。有意水準は 5% に設定した。

3 結果

(1) 両足旋回時間、固視時間、固視回数

4 周分の両足旋回時間、固視時間、固視回数を Table 1 に示した。実際の固視時間の平均値は、3.19 (± 0.29) 秒であった。

(2) VAS と連続した両足旋回中の固視時間およびスコアの相関関係

VAS と連続した両足旋回中の固視時間およびスコアの相関係数を Table 2 に示した。その結果、VAS とスコアに有意な相関は認められなかった。他方、VAS は最後の 4 周時

Table 1 Means and standard deviations of 4 circles duration, Fixation duration as well as Number of fixations.

| Variables | Circles duration (sec) | Fixation duration (%) | Number of fixations |
|-----------|------------------------|-----------------------|---------------------|
| Means | 3.87 | 82.37 | 10.21 |
| SD | 0.11 | 6.66 | 3.36 |

Table 2 Correlation coefficients between VAS and Circles as well as Score.

| | Circles | | | | | | Score |
|-----|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------|
| | 1 st -5 th | 6 th -10 th | 11 st -15 th | 16 th -20 th | 21 st -25 th | 26 th -30 th | |
| VAS | -.34 | -.51 | -.01 | -.49 | -.33 | -.58* | .14 |

* $p < .05$

の固視時間と有意な負の相関があった。したがって、26周目からの両足旋回4周時の固視時間が長い選手ほど、失敗しやすいと指導者から評価されていることが示された。

4 考察

本研究の目的は、熟練した体操選手における両足旋回中の眼球運動を測定することによって、この運動中の視線安定について定量的なデータを得ることであった。また、両足旋回中の視線安定と指導者における体操選手の競技力に関する評価に関係があるかどうかについても検討した。前者の目的を達成することは、いまだ発表されていない、両足旋回中の固視時間や固視回数といった視線行動を浮き彫りにすることにつながる。後者についての検討から、両足旋回中の眼球運動を測定することがトレーニング現場に有益な情報となる可能性について言及できる。

実験の結果、選手が両足旋回中に外界を固視していることが明らかになった。これまでも両足旋回中に固視をしていることを示唆する報告(クレストフニコフ, 1978)はあったが、それに関する定量的なデータは得られていなかった。本研究で得られた知見により、次ぐ研究課題の設定や新たな実証的研究の展開が可能になったと考えられる。

4周の両足旋回時間の平均値は3.87秒であった。Fujihara & Gervais (2010)が報告した両足旋回1周にかかる時間(およそ0.95秒)と本研究結果から算出される1周あたりの時間(およそ0.97秒)はほとんど一緒である。Baudry et al. (2003)は、熟練した体操選手が両足旋回を行う時、片腕で身体を支える必要がある入れ局面と抜き局面は、それぞれ両足旋回全体の33%と35.6%であると報告した。本研究でも同様にそれぞれおよそ34%の時間(約0.66秒)にわたり、片腕という不安定な姿勢で身体を支えていることが

推察される。

両足旋回のおよそ82%にもわたり生じた固視が、そのような不安定な姿勢において動的バランスを維持することに寄与している (Robertson & Elliott, 1996) のだろう。加藤・福田 (2002) は、「視線が移動する度に視野の座標原点も移動することとなり、結果として視対象の空間的な位置関係の把握が不安定になる」と述べている。固視がバランスに肯定的な影響を及ぼす (Laurens et al., 2010; Schulmann et al., 1987) ことから考えても、選手は両足旋回という不安定な運動中に、視線を停留させることによって視野を安定させ、それにより動的バランスをとっていることが示唆される。あん馬における重要な能力が、動的バランスに関わるものである (Holvoet, 2011; Salmela, 2011; Sands, 1999) ならば、選手がみせたこの視線行動は合目的なものといえよう。

頭部が常に動き続ける両足旋回の最中であっても、このような視線の安定が実現されたのは、眼球が頭部に対して補償的に回転したからである (Bizzi, 1974; 疋田・笠井, 1999)。この眼球運動は、前庭動眼反射 (Vestibular-ocular reflex) と呼ばれ、頭部の動きを前庭器官が感知し、その情報を基とする反射性のものである。つまり、選手は両足旋回中に何かの動くものを目で追うように意識的に眼球を動かすのではなく、無意識的に眼球を回転させることによって視線の安定化を図っている。頭部ばかりでなく眼球も動き続けているのである。

両足旋回中に固視時間として認められなかった時には、サッカードと呼ばれる高速の眼球運動や瞬き (Vickers, 2007) が行われていた。これらの間は、外界の情報を得ることはできない。クレストフニコフ (1978) があん馬の演技の最中に「被験者の頭は軽く下げられ、視軸は1.5mにすえられた」と述べているが、実際にはそのように常に一定の方向へ視線が向けられているわけではないことが明らかになった。

両足旋回を連続させることにより、選手を日常的に指導する指導者の評価と固視時間に相関関係が見出されたことも興味深い結果であろう。両足旋回の連続を開始して中盤までにその関係を見つけることはできないが、終盤にその相関が現れたということは、この時にそれまでとは異なる眼球運動やそれによる新たな視線行動が生じていた可能性がある。それが、疲労 (Abel et al., 1983; Leigh & Zee, 2015; 三田ほか, 2016) によるものであるかどうかを本研究において特定することはできないが、少なくとも両足旋回の後半には疲労が蓄積しているはずである (Fujihara & Gervais, 2012; Jemni, 2011)。筋疲労がバランスの維持に否定的な影響を与えること (Cetin et al., 2008; Johnston et al., 1998) が報告されている。そのような疲労時において、視覚情報がバランスを向上させること (Vuillerme et al., 2011) が指摘されている。これらのことから考えると、両足旋回の連続により疲労が蓄積し、それがバランスを崩すほどに多くなった時、選手はバランスをとるためにさらに視線を安定させ、それにより必要な視覚情報を収集しようとしているのかもしれない。

その可能性は、指導者の評価と固視時間における負の相関という結果とも結びつく。指導者があん馬の演技で失敗すると思っている選手ほど、両足旋回の終盤に長い時間にわたり固視をしている。終盤に固視時間が長くなる選手は、本実験課題であった30週の両足旋回を実施するだけの体力的な要素が足りず、それが日常的な練習でのあん馬の失敗にも

つながっており、そのために指導者から失敗しやすいと認識されている可能性がある。

他方、審判員が採点したスコアと指導者の選手に対する評価の間に相関関係は認められなかった。選手に対する指導者から失敗しやすいかどうかという評価と、選手の両足旋回の出来ばえが関係ないものであり、いかに減点の少ない両足旋回を実施できたとしても、指導者は別の観点からその選手の競技力を評価していることがうかがえる。当然、本研究によって示されたのは指導者からの評価であって、実際に選手があん馬を失敗しやすい選手かどうかは明らかになっていない。その一方で、十分な競技歴をもつ熟練した指導者が、選手の競技力を適切に評価できることが示唆されている (Zamparo et al., 2017)。両者に注意をして本研究で得られた知見を利用すべきだろう。

固視時間の長くなった選手がどれだけの両足旋回を連続させることができるかなど、本研究においてこれ以上の詳細な分析は行っていない。したがって、本研究において指導者の評価が低かった選手の固視時間が長くなった原因を特定するには至らない。両足旋回中の固視時間を経時的に比較するなど、今後さらなる研究が必要となる。

また、選手が視線を向けている位置についても詳細な分析が必要だろう。このことは2つの残された問題について検討することを可能にする。1つは、選手が「何を見ていたのか」という問題である。両足旋回の最中に選手の正面には固視対象となる物は何もなかった。おそらく、本を読むように特定の何かを注視していたのではなく (Hondzinski & Darling, 2001)、視線を安定させるために最適な位置を「見て」いたのだろう。2つ目の問題は、その視線の方向と両足旋回の姿勢や動作との関係についてである。熟練した体操選手が両足旋回中にみせた視線行動が、両足旋回の高さや姿勢に影響を与えている可能性があるからである。日常生活において我々が、無意識に適切なタイミングで必要な場所に視線を向ける (Land et al., 1999) ように、熟練したスポーツ選手がその運動を制御するうえで、最適な視線行動をみせることが報告されている (Land & McLeod, 2000; Williams et al., 2002)。その視線の方向は、運動時の動作や姿勢にも影響を与えている (Heinen et al., 2012; Sato et al., 2016)。この問題について検討することは、両足旋回中の視線行動と身体運動の相互関係を明らかにすることにつながる。それにより、より良い両足旋回のパフォーマンスを実現させるための望ましい視線方向を特定することができ、その方向を考慮したトレーニングプログラムの作成に資するだろう。

本研究の結果として示された眼球運動と指導者の評価の関係も、トレーニング現場に有用な知見となり得る。最も難しい種目であると考えられているあん馬 (Cogan & Vidmar, 2000; Prassas et al., 2006) において、選手の競技力を体操選手の「眼の動き」から客観的に評価できる可能性があるからである。より実用的な知見を得るためにも、挙げられた問題点についてさらに研究を進める必要がある。

本研究の限界として、いくつかのことが挙げられる。本研究では両足旋回の連続を課題としたが、実際のあん馬の演技では両足旋回を発展させた技が多く実施される。したがって、実際の演技中に、両足旋回と同様の固視時間が確保されるかどうかはわからない。また、本研究結果を国際大会に出場するような、より優れた競技力を有する選手に適用できるかどうか不明である。本研究で得られた知見を利用して、さらに研究を進める必要がある。

5 まとめ

本研究の目的は、熟練した体操選手における両足旋回中の眼球運動を測定することによって、この運動中の視線安定について定量的なデータを得ることであった。また、両足旋回中の視線安定と指導者における体操選手の競技力に関する評価に関係があるかどうかについても検討した。

その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 熟練した体操選手は、両足旋回のおよそ82%にわたり固視を行っていた。
- (2) 両足旋回を30周行った際、最後の4周における固視時間と指導者が選手の失敗の可能性を評価したVASとの間に相関関係が示された。

以上のように、これまで明かされてこなかった両足旋回中の視線安定に関する定量的なデータが本研究により提示された。また、その視線安定を数量化することにより、視線行動が選手の競技力を評価する指標になる可能性を見出した。

今後、本研究で得られた知見を利用することによって、新たに提示された課題や残された問題について研究を展開する必要がある。それは、選手の競技力を客観的に判断する指標の作成や新しいトレーニングプログラムの提示に貢献する可能性をもつ。

謝辞

本研究は、公益財団法人ヤマハ発動機スポーツ振興財団からの研究助成により行われました。ここに記して感謝の意を表します。また、本研究は多くの皆様の協力により遂行できました。特に研究の遂行を支援してくださった日本大学商学部の渡部悟先生に、この場を借りて心よりお礼申し上げます。

【参考文献】

- 加藤貴昭・福田忠彦 (2002) 「野球の打撃準備時間相における打者の視覚探索ストラテジー」『人間工学』第38巻, 第6号, pp. 333-340。
- クレストフニコフ A. N.: スポーツ科学研究会訳 (1978) 『スポーツの生理学』不昧堂出版。 < Krestovnikov A. N. (1951) Очерки По Физиологии Физических Упражнений. Moscow: Fizkultura i sport. >
- 公益財団法人日本体操協会 (2017) 『採点規則男子 2017年版』公益財団法人日本体操協会。
- 佐藤佑介 (2008) 「後方かかえ込み宙返りににおける視線の移動パターン」『スポーツ心理学研究』第35巻, 第2号, pp. 41-49。
- 中村隆一・斎藤 宏・長崎 浩 (2003) 『基礎運動学第6版』医歯薬出版。
- 疋田真一・笠井 健 (1999) 「並進運動時の補償性眼球運動の性質」『電子情報通信学会技術研究報告』第99巻, 第29号, pp. 39-46。
- 水島宏一 (1998) 「あん馬における両足旋回の技術について」『体操競技研究』第6巻, pp.

39-55。

- 三田菜奈子・田中 涼・浅井友詞 (2016) 「頸部筋疲労が眼球運動におよぼす影響」『理学療法学』第43巻, Suppl. 第2号。
- Abel, L. A., Troost, B. T. and Dell'Osso, L. F. (1983) "The effects of age on normal saccadic characteristics and their variability," *Vision Research*, Vol. 23, pp. 33-37.
- Baudry, L., Leroy, D. and Chollet, D. (2003) "Spatio-temporal variables of the circle on a pommel horse according to the level of expertise of the gymnast," *Journal of Human Movement Studies*, Vol. 44, No. 3, pp. 195-208.
- Baudry, L., Leroy, D. and Chollet, D. (2006) "The effect of combined self-and expert-modelling on the performance of the double leg circle on the pommel horse," *Journal of Sports Sciences*, Vol. 24, No. 10, pp. 1055-1063.
- Baudry, L., Sforza, C., Leroy, D., Lovecchio, N., Gautier, G. and Thouwarecq, R. (2009) "Amplitude variables of circle on the pedagogic pommel horse in gymnastics," *The Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 23, No. 3, pp. 705-711.
- Berthoz, A. and Pozzo, T. (1994) "Head and body coordination during locomotion and complex movements," In S.P. Swinnen, J. Massion, and H. Herer (Eds.) , *Interlimb Coordination: Neural, Dynamical, and Cognitive Constraints*, San Diego: Academic Press, pp. 147-165.
- Bizzi, E. (1974) "The coordination of eye-head movements," *Scientific American*, Vol. 231, No. 4, pp. 100-106.
- Butler, R. J., Southers, C., Gorman, P. P., Kiesel, K. B. and Plisky, P. J. (2012) "Differences in soccer players' dynamic balance across levels of competition," *Journal of Athletic Training*, Vol. 47, No. 6, pp. 616-620.
- Cetin, N., Bayramoglu, M., Aytar, A., Surenkok, O. and Yemisci, O. U. (2008) "Effects of lower-extremity and trunk muscle fatigue on balance," *The Open Sports Medicine Journal*, Vol. 2, pp. 16-22.
- Cogan, K. D. and Vidmar, P. (2000) "Pommel horse: Circling with mental skills" *Sport psychology library: Gymnastics*, Morgantown: Fitness Information Technology, pp. 89-91.
- Eylen, M. A., Daglioglu, O., and Gucenmez, E. (2017) "The effects of different strength training on static and dynamic balance ability of volleyball players," *Journal of Education and Training Studies*, Vol. 5, No. 13, pp. 13-18.
- Fédération Internationale de Gymnastique (2016) "2017-2020 Code of points: Men's artistic gymnastics," http://www.fig-gymnastics.com/publicdir/rules/files/mag/CoP_MAG_2017-2020_ICI-e.pdf, (参照日 2018年12月14日)
- Fujihara, T. and Gervais, P. (2010) "Kinematics of side and cross circles on pommel horse," *European Journal of Sport Science*, Vol. 10, No. 1, pp. 21-30.
- Fujihara, T. and Gervais, P. (2012) "Circles on pommel horse with a suspended aid:

- Influence of expertise,” *Journal of Sports Sciences*, Vol. 30, No. 6, pp. 583-589.
- Fujihara, T. and Gervais, P. (2013) “Head positions are related to the performance quality of circles on pommel horse,” *In ISBS-Conference Proceedings Archive*.
- Fujihara, T., Fuchimoto, T. and Gervais, P. (2009) “Biomechanical analysis of circles on pommel horse,” *Sports Biomechanics*, Vol. 8, No. 1, pp. 22-38.
- Fujihara, T., Yamamoto, E. and Gervais, P. (2015) “Toward an ideal performance of circles on pommel horse: Centrifugal force and mass-centre Velocity,” *In ISBS-Conference Proceedings Archive*, Vol. 33, No. 1, pp. 896-899.
- Grassi, G., Turci, M., Shirai, Y. F., Lovecchio, N., Sforza, C. and Ferrario, V. F. (2005) “Body movements on the men’s competition mushroom: A three dimensional analysis of circular swings,” *British Journal of Sports Medicine*, Vol. 39, No. 8, pp. 489-492.
- Heinen, T. (2011) “Evidence for the spotting hypothesis in gymnasts,” *Motor Control*, Vol. 15, No. 2, pp. 267-284.
- Heinen, T., Velentzas, K. and Vinken, P. M. (2012) “Functional relationships between gaze behavior and movement kinematics when performing high bar dismounts: an exploratory study,” *Human Movement*, Vol. 13, No. 3, pp. 218-224.
- Herlitz, M. (2018) “Analyzing the tobii real-world-mapping tool and improving its workflow using random forests,” <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1210809/FULLTEXT01.pdf>, (参照日 2018年12月14日)
- Holvoet, P. (2011) “The biomechanist’s point of view,” In M. Jemni, W. A. Sands, J. H. Salmela, P. Holvoet, and M. Gateva (Eds.), *The Science of Gymnastics*, London: Routledge, pp. 172-175.
- Hondzinski, J. M. and Darling, W. G. (2001) “Aerial somersault performance under three visual conditions,” *Motor Control*, Vol. 5, pp. 281-300.
- Jemni, M. (2011) “Cardiovascular and respiratory system of gymnastics,” In M. Jemni, W. A. Sands, J. H. Salmela, P. Holvoet, and M. Gateva (Eds.), *The Science of Gymnastics*, London: Routledge, pp. 17-21.
- Johnston, R. B., Howard, M. E., Cawley, P. W. and Losse, G. M. (1998) “Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance,” *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Vol. 30, No. 12, pp. 1703-1707.
- Land, M.F., Mennie, N. and Rusted, J. (1999) “The roles of vision and eye movements in the control of activities of daily living,” *Perception*, Vol. 28, pp. 1311-1328.
- Land, M. F. and McLeod, P. (2000) “From eye movements to actions: How batsmen hit the ball,” *Nature Neuroscience*, Vol. 3, No. 12, pp. 1340-1345.
- Laurens, J., Awai, L., Bockisch, C. J., Hegemann, S., van Hedel, H. J. A., Dietz, V. and Straumann, D. (2010) “Visual contribution to postural stability: Interaction between target fixation or tracking and static or dynamic large-field stimulus,” *Gait &*

- posture*, Vol. 31, pp. 37-41.
- Leigh, R. J. and Zee, D. S. (2015) *The Neurology of Eye Movements*, USA: Oxford University Press.
- Prassas, S., Kwon, Y. H. and Sands, W. A. (2006) "Biomechanical research in artistic gymnastics: A review," *Sports Biomechanics*, Vol. 5, No. 2, pp. 261-291.
- Robertson, S. and Elliott, D. (1996) "The influence of skill in gymnastics and vision on dynamic balance," *International Journal of Sport Psychology*, Vol. 27, No. 4, pp. 361-368.
- Salmela, J. H. (2011) "Task demands and career transitions in gymnastics," In M. Jemni, W. A. Sands, J. H. Salmela, P. Holvoet, and M. Gateva (Eds.), *The Science of Gymnastics*, London: Routledge, pp. 109-120.
- Sands, W. A. (1999) "Why gymnastics," *Technique*, Vol. 19, No. 3, pp. 1-11.
- Sato, Y., Velentzas, K. and Heinen, T. (2016) "Relationships between gaze behavior and motor behavior in complex aerial skills," In T. Heinen, I. Čuk, R. Goebel, and K. Velentzas (Eds.), *Gymnastics Performance and Motor Learning. Principles and Applications*, New York: NOVA Science Publishers Inc., pp. 1-18.
- Sato, Y., Torii, S., Sasaki, M. and Heinen, T. (2017) "Gaze-shift patterns during a jump with full turn in male gymnasts," *Perceptual and motor skills*, Vol. 124, No. 1, pp. 248-263.
- Schulmann, D. L., Godfrey, B. and Fisher, A. G. (1987) "Effect of eye movements on dynamic equilibrium," *Physical Therapy*, Vol. 67, pp. 1054-1057.
- Tobii pro (2018) "When do I use the I-VT Attention filter?," https://connect.tobiipro.com/s/article/When-do-I-use-the-I-VT-Attention-filter?language=en_US, (参照日2018年12月14日)
- Vickers, J. N. (2007) *Perception, Cognition, and Decision Training: The Quiet Eye in Action*, Champaign: Human Kinetics.
- Vuillerme, N., Nougier, V. and Prieur, J. M. (2001) "Can vision compensate for a lower limbs muscular fatigue for controlling posture in humans?," *Neuroscience Letters*, Vol. 308, pp. 103-106.
- Wewers, M. E., and Lowe, N. K. (1990) "A critical review of visual analogue scales in the measurement of clinical phenomena," *Research in Nursing & Health*, Vol. 13, No. 4, pp. 227-236.
- Williams, A. M., Singer, R. N. and Frehlich, S. G. (2002) "Quiet eye duration, expertise, and task complexity in near and far aiming tasks," *Journal of Motor Behavior*, Vol. 34, No. 2, pp. 197-207.
- Zamparo, P., Carrara, S. and Cesari, P. (2017) "Movement evaluation of front crawl swimming: Technical skill versus aesthetic quality," *PloS one*, Vol. 12, No. 9, e0184171.

(Abstract)

Circles on a pommel horse are difficult for gymnasts because of the balance required to perform them. It is well known that visual information is crucial for maintaining one's balance. However, the way gymnasts gather this information during circles remains unclear. The aim of this study was to quantitatively examine gaze behavior in gymnasts performing circle movements on a pommel horse. The participants were 14 skilled gymnasts. Each gymnast performed 30 circles on a pommel horse while wearing special glasses that detected eye movements. The results showed that the gymnasts stabilized their gaze for approximately 82% of the duration of each circle. The present quantitative data on gaze behavior during circles verify a previous speculation by Krestovnikov (1978). The results might be valuable for individual gymnasts and gymnastics coaches but measuring eye movements has potential for evaluating the performance level of gymnasts on the pommel horse.