

スポーツ競技力向上のための Quiet Eye の計測と訓練手法に関する研究

A Study of Quiet Eye Measurement and Training System for Improving Sport Competitive Skill

今福翔太^{1*} 白山晋¹
Shota Imafuku¹ Susumu Shirayama¹

¹ 東京大学大学院 工学系研究科 (〒113-8654 東京都文京区本郷7丁目3-1)

¹ School of Engineering, The University of Tokyo 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8654

Abstract: The Quiet Eye, a kind of eye movement, has received attention in recent years. It is observed when people concentrate on the task. It is revealed that duration of experts tends to be longer than that of novices and training of the Quiet Eye makes people more tolerant to pressure. However it is difficult to measure QE and there are few studies to investigate the relationship between QE and pupil diameter. Therefore, we established a simple measurement system of QE and propose the method to analyze the relationship between QE and pupil diameter by taking putting golf balls as a case study. Also we compared three training methods for putting and show the efficient method for QE training.

1 序論

2020年の東京オリンピックの開催のような、世界的なスポーツイベントの自国開催により、日本においてはこれまで以上にスポーツへの関心が高まっている。また、本研究は、視線計測技術をスポーツの競技力の向上に応用することを目的として始められた。

視線運動には見たい対象に向かって素早く眼球を動かし視点を移動するサッケードや瞬きを意味する瞬目、対象をじっと見る注視行動などが挙げられるが、本稿は特に Quiet Eye に焦点を当てる。Quiet Eye とは、スポーツ選手に特にみられる、プレイを行う際に適切なタイミングで適切な場所を見る能力である。1992年、Vickers が行ったゴルフのパターの研究においてこの能力は発見され、1996年に Vickers によるバスケットボールのフリースローの研究で Quiet Eye と名付けられた (Vickers, 2016)[1]。Vickers が定義した QE の定義は「運動中で、視野角が 3 以下かつ持続時間が 100ms 以上の特定の場所に対する注視行動」である (Vickers, 2016)[1]。

Quiet Eye (以下 QE と呼ぶ) は熟練者と非熟練者を明確に分ける視線行動としても知られている。例えば、Klostermann らによりゴルフのパターにおいては熟練者の方が非熟練者よりも QE の持続時間が長く、終了

時点が遅いことが報告されている (Klostermann et al., 2014)[2]。Causser らはショットガン競技に関する研究において、熟練者は非熟練者に比べて標的を目で捉えるのが早く、より長い間標的を見ていることを発見した (Causser et al., 2010)[3]。また、Vickers により、バスケットボールのフリースローにおいて熟練者の QE の持続時間は、成功時の方が失敗時よりも長いことが示されている (Vickers, 1996)[4]。これらの研究では、熟練者と非熟練者を分けている特徴を、身体動作、見ている場所、注視行動開始時点、注視行動終了時点、注視行動持続時間の 5 つとすることが多い。本研究でもこの 5 つの特徴に注目する。

QE を考慮した訓練に関する研究もある。Vine らはフリースローの課題について、被験者を QE を意識した指導を受ける組と技術的な指導のみの組に分け、8 日間にわたって訓練を行った。その結果、QE の指導を受けた被験者の QE の持続時間は訓練前より長くなり、技術的な指導のみを受けた被験者と比較しても有意に長くなったことを示している。また、成功率についても技術的な指導のみを受けた被験者よりも高くなり、さらにはプレッシャーがかかり、緊張するような状況においてもより高い確率で成功することを見出している。この研究結果は、QE は訓練によって改善させることができ、より効率的な競技力の向上が見込めることおよびプレッシャーに対して耐性を得られることを示唆している (Vine and Wilson, 2011)[5]。一方、水崎らは非

*連絡先：東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻
〒113-8654 東京都文京区本郷7丁目3-1
E-main: shota.imafuku@gmail.com

熟練者に対して QE の訓練を行ったが QE による練習効率の向上は見られなかったことを報告している。彼らは、非熟練者に対しては、QE の訓練の前に動作の獲得に必要な訓練期間を設定する必要があると主張している (水崎他, 2013)[6]。これらのことから、QE を考慮した訓練が一般的になれば、競技力のより一層の向上が可能になると考えられる。このためには科学的な知見に基づく QE 訓練システムの構築が必要になる。

本研究の目的は、スポーツの競技力向上のための Quiet Eye(QE) 訓練システムを構築することである。

先述の通り、これまで QE についての研究は行われているが、著者が調べた限りでは、QE の計測手法についての研究は少ない。例えば、先述の研究においては計測手法の詳細が示されていない。

また、QE とはそもそも視線行動を指すが、議論されているのは主として視線の位置と注視行動についてのみである。瞳孔径の変化や瞬目の回数といった眼球運動を特徴付ける諸量についての議論はほとんどない。そこで、本研究では身体動作の自動検出による簡易な計測手法と瞳孔径を考慮した QE の考察、および QE を考慮した訓練システムを提案する。

2 提案手法

2.1 概要

本研究では QE の簡易な計測手法、および瞳孔径を含めた QE の分析手法を提案する。

はじめに図 1 に実験環境を俯瞰図で示す。被験者が装着している青い帽子は視線計測装置である EMR-9 であり、被験者にはゴルフのパットングを行ってもらい、その最中の視線データを取得する。さらに提案手法では Microsoft 社の Kinect を外部カメラとして利用し、煩雑である動作の検出の自動化を行う。

続いて、計測して得られた視線データ、動作データを後述するモデルに適用し QE の抽出を行う。その後、データの分析として QE の持続時間と開始時刻の比較、および隠れマルコフモデルを利用した状態分割を行う。

また、被験者の競技力 (パターの精度) の指標としてボールとカップの距離、およびボールがカップに近づく速さを新たな指標とすることを提案する。

2.2 Kinect による動作データの取得

Quiet Eye(QE) を計測するためには視線データと紐づく動作の検出が必要である。Microsoft 社の Kinect v2 は安価ながら深度カメラなどを内蔵しており人間の骨格を検出できることから、これを利用したジェスチャー認識の研究 (Ding, 2015[7], Jiang, 2015[8]) が行

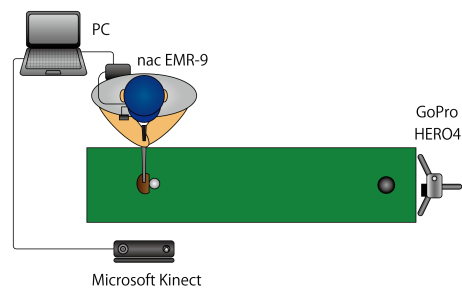


図 1: The experimental environment

われている。本研究でも Kinect v2 を利用して動作を検出することを提案する。Kinect v2 を活用した動作検出には、Microsoft 社が提供する SDK に含まれる Visual Gesture Builder というツールを用いる。ある動作について教師データを与えて学習を行うことで、リアルタイムで動作を検出できるようになる。処理の流れは、

1. 訓練データの収集
2. 機械学習による識別機の学習
3. 動作の検出

の 3 ステップで構成される。本研究では研究室の学生 8 名によるゴルフのパターの訓練データを集め、この Visual Gesture Builder を利用してゴルフのパターの動作に対する識別機を生成した。識別機を作成するにあたり、検出精度を上げるためにゴルフのパター動作を 1. 振り上げる動作 (take back) と 2. 振り下ろす動作 (down swing) の 2 つに分けて検出を行うこととした。得られた識別機によって図 2 のように動作検出が行えるようになった。動作が検出されている場合、左上に動作の種類とその信頼度が表示される。



図 2: Detecting putting gesture

2.3 Quiet Eye の取得

QE とは特定の動作のタイミングで起こる注視行動のことを指しており、その実は視線データである。よって

QE を抽出するためには視線データと動作データを対応付け、動作中の注視行動を発見すればよい。そこで、視線データと動作データを対応付けるために EMR-9 と Kinect を 1 つの PC に接続し、それぞれのカメラから得られる映像を 1 対 1 に対応付けて撮影を行う。

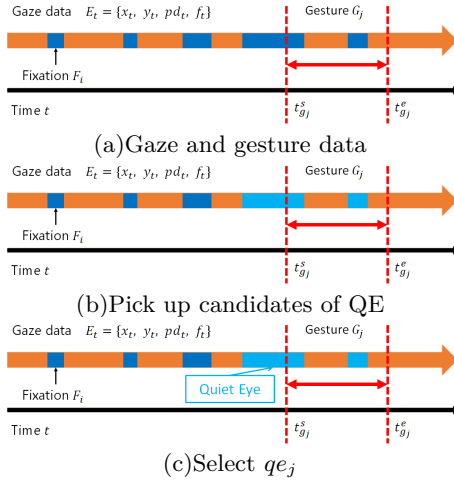


図 3: Quiet Eye model

ここで、時刻 t における視線データ E_t を

$$E_t = (x_t, y_t, pd_t, f_t) \quad (1)$$

と表す。 (x_t, y_t) は視野映像中の視線位置 (単位は px), pd_t は瞳孔径 (単位は mm), f_t は注視行動のことであり、 f_t は 2 値データであり、1 の時に注視行動が起きているものとする。1 が連続している箇所を 1 回分の注視行動とし、計測が始まってから第 i 番目の注視行動を F_i とする ($i > 0$)。この時、注視行動 F_i が始まった時刻を $t_{F_i}^s$, 終わった時刻を $t_{F_i}^e$ とする。また、時刻 t における動作データ g_t は

$$g_t = \begin{cases} 1 & (\text{occurring gesture}) \\ 0 & (\text{not occurring gesture}) \end{cases} \quad (2)$$

のように表す。時系列の 2 値データ g の中で 1 が連続している部分が 1 回分の動作を表す。ここで、 j を正の整数とするととき第 j 番目の動作を G_j とする。さらには動作 G_j が始まった時刻を $t_{G_j}^s$, 終わった時刻を $t_{G_j}^e$ のように表記する。図 3(a) がここまで説明したデータについての概念図である。オレンジ色の矢印が視線データ E_t , 矢印上の青いブロックが注視行動 F_i , そして赤い点線で挟まれた部分が動作 G_j である。ここから動作 G_j に対応する QE を抽出する。この QE を qe_j で示す。まずは G_j 中に起こっている注視行動を見つけ、QE の候補とする。図 3(b) においては水色になっているブロックの注視行動が候補となる。ここで候補となった n

個の注視行動の集合を $\{F_{j1}, F_{j2}, \dots, F_{jk}, \dots, F_{jn}\}$ とする。

$$d_{jk} = t_{F_{jk}}^e - t_{F_{jk}}^s \quad (3)$$

注視行動 F_{jk} の持続時間 d_{jk} を式 3 のように表したときに、持続時間が最大となるような注視行動を QE とする。すなわち、 $d_{jk'} = \max \{d_{j1}, d_{j2}, \dots, d_{jk}, \dots, d_{jn}\}$ となるような注視行動 $F_{jk'}$ を動作 G_j に対する qe_j とする。図 3(c) に抽出した qe_j を示す。後述する実験ではここで定義した QE モデルに基づき QE を抽出し、分析を行う。

2.4 視線データ分析

視線データの分析は、抽出した QE の分析、瞳孔径を含めた視線データに対する隠れマルコフモデルによる分析および瞳孔径の分析の 3 つからなる。本稿では紙面の都合により QE の分析、隠れマルコフモデルによる分析を示す。

2.4.1 Quiet Eye の分析

本実験では注視行動持続時間及び開始時点をも QE 毎に求め比較していく。 i 番目の動作 G_i (開始時刻 $t_{G_i}^s$), 終了時刻 $t_{G_i}^e$ における qe_i (開始時刻 $t_{qe_i}^s$, 終了時刻 $t_{qe_i}^e$) の持続時間を式 3 で求める。また、開始時点については QE の開始時刻を用いると各パターンの試行での比較ができないため、式 4 のように qe_i の開始時刻と G_i の開始時刻の差を求め、この開始時点 s_i で比較を行う。

$$s_i = t_{qe_i}^s - t_{G_i}^s \quad (4)$$

式が示す通り、 s_i が小さいほど開始時点が早いことを示す。実験においては持続時間、開始時点という 2 つの特徴量について被験者間の比較、および被験者自身の時間が経過した際の変化を統計的に分析する。

2.4.2 隠れマルコフモデルによる分析

これまでの QE の研究には瞳孔径を特徴量として分析したものが少ない。そこで本研究では我々の先行研究 [9] を踏まえ、隠れマルコフモデルを利用した分析を行う。先行研究では観測変数としてディスプレイに表示される計算課題を解く際の被験者の 1 回あたりの生体情報を与え、隠れマルコフモデルを用いて状態の分割を行った。本研究では動作 4 秒前から動作後 1 秒後までの期間を 1 つの区切りとした視線データのセットを作り、得られた複数のデータセットを利用して隠れマルコフモデルで状態を分割する手法を提案する。この動作 4 秒前から動作 1 秒後というタイムスパンは予

備実験の結果から，QE が必ず含まれるように選んだ値である．分析する際の概念図を図 4 に示す．動作が n 回行われた場合， n 個のデータセットが出来るのでこれらに対して隠れマルコフモデルを計算して遷移確率などのパラメータを求め，状態の分割を行う．

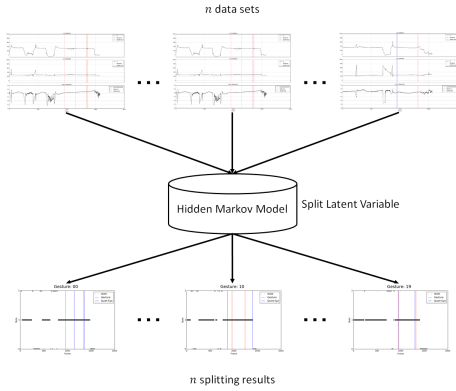


図 4: The conceptual diagram of applying Hidden Markov Model

状態の分割を行った後は各状態における視線データについて平均・標準偏差といった統計量を出し，比較することで分析を行う．

また，本研究では分割した状態の度数分布を用いて個人間だけでなくグループ間の比較を行うことを提案する．ある時刻 t における状態を s_t ，取りうる状態を $S_k (k = 0, 1, 2)$ とする．また，考慮する期間中の S_k の度数を sf_k とする．度数の正規化を行い，グループ間，テスト間での比較を行うようにする．度数 sf_k は式 5 のように正規化できる．

$$\hat{sf}_k = \frac{sf_k}{\sum_i sf_i} \quad (5)$$

このように正規化した度数 \hat{sf}_k を状態出現率と呼ぶ．これを用いてグループ間の比較を行う．

2.4.3 瞳孔径の分析

後述する予備実験 1 において，瞳孔径そのものに着目する必要性が生じた．そこで，本実験では瞳孔径に着目した分析も行う．Moran らは QE 中の瞳孔径とあらかじめ求めておいた被験者の瞳孔径の平均との差を利用して分析している．個人差がある瞳孔径を比較するためである [10]．本研究でも Moran の手法を用いて瞳孔径変化量について分析する．なお，彼らは計測開始から 1000ms 間の瞳孔径の平均を利用したが，本研究では計測で得られた全瞳孔径データの平均を用いることとする． n フレーム分が得られた場合，瞳孔径の平均 \bar{pd} は次式で表される．

$$\bar{pd} = \frac{\sum_i^n pd_i}{n} \quad (6)$$

ある時刻 t における瞳孔径変化量を pd_c_t とすると次式で表すことができる．

$$pd_c_t = \frac{pd_t - \bar{pd}}{\bar{pd}} \times 100 \quad (7)$$

求めた瞳孔径変化量の例を図 5 に示す．本実験においては求めた瞳孔径変化量の平均などの統計量を用いて，分析を行う．

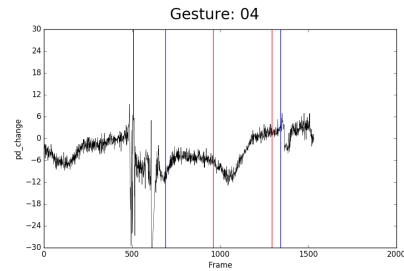


図 5: Example of pupil diameter rate

3 実験

紙面の都合により本稿ではパッティングと QE に関する 3 つの訓練方法の効果の比較を行った本実験 3 の結果の 1 部を示す．

3.1 実験概要

提案手法を用いて，訓練方法がゴルフのパターの熟練度の向上と Quiet Eye(QE) に与える影響を評価する実験を行った．本実験では被験者を 3 群に分け，それぞれの群について以下に示すような異なるゴルフのパターの訓練を行い，訓練方法の効果と比較した．

A 通常の訓練

B A+被験者に視野映像を見せ，QE についても教える訓練 (Vine et al., 2011)[11]

C A+スチレンボードで被験者の視野を制限する訓練 (Oudejans et al., 2012)[12]

なお，ここに示す通常の訓練とは，フォームや動作に関する助言のみを行い，視線行動については一切助言を与えないことを意味する．

実験のスケジュールを表 1，訓練の様子を図 6 に示す．計測では視線計測装置を装着した状態でパターを

20本打ってもらい、その間のパターの成否、視線データ、動作データ、パターの精度を記録した。計測の流れは1. 実験の説明, 2. 練習としてパッティング10本, 3. EMR-9を装着してパッティング5本, 4. パッティング20本を計測, である。

表 1: Schedule

Day 1	Motion acquisition	Practice for getting standard form on putting
Day 2	Motion acquisition	Practice for getting standard form on putting
Day 3	Baseline Test	Measure QE
	Training 1	Different training for each group
Day 4	Training 2	Different training for each group
Day 5	Retention Test	Measure QE
Rest	More than a day	rest
Day 6	Competitive Test	Measure QE

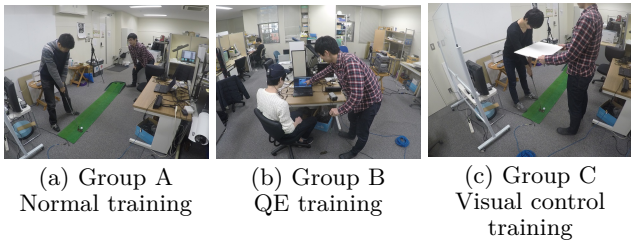


図 6: Group and Training

3.2 実験結果と考察

実験で得られた視線データと動作データから QE を抽出し、隠れマルコフモデルによる状態の分割、瞳孔径の分析を行った。得られた QE の持続時間、開始時点を図 7 に示す。また、分割結果から算出した状態出現率を図 8 に示す。なお、状態出現率の高さで分類して集計を行っており、図中の First, Second, Third の順に状態出現率が高い。ここで、隠れマルコフモデルの性質上、出現率 First の状態がすべてのグループに対して同じ内容を意味するとは限らないことに注意され

たい。それぞれの状態に対してどういった状態を意味するのは発生時間や動作内容と照らし合わせて推定する必要がある。

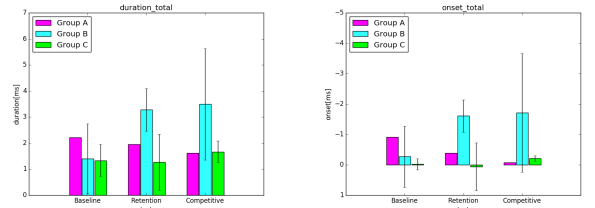


図 7: QE's result

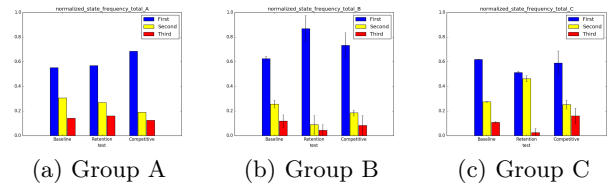


図 8: State appearance rate. First state appearance rate is dominant in Group B after training. In Group C, First rate appearance state is as high as second state appearance rate.

QE の持続時間に関しては B グループのみが長くなった。QE の開始時点についても B グループだけが早くなったが、QE の持続時間の長さ、開始時点の早さとパターの成否、熟練度に関係性は認められなかった。HMM で 3 状態に分割した際には、A, B グループは 1 状態が支配的になり、特に B グループは 1 状態の出現率が高かった。C グループは Retention テストの際に 2 状態分割に近い状態になった。訓練によって B グループは 1 状態が支配的になり、ボールを集中して見ている期間が長くなったと考えられる。

B グループに対して行った訓練については QE の持続時間が長くなり、開始時点が早くなる効果がある程度見られた。一方で C グループについては QE や熟練度に対する効果も見られなかった。以上のことから QE を考慮した訓練としては、B グループに対して行った、選手に視野映像を見せて視線に関するフィードバックを与える方法が有効であると考えられる。提案手法を用いて QE のデータを取得し、持続時間などの指標を示すことで選手に対してより具体的なフィードバックを与えることができ、訓練の効果も高まることが期待される。

4 結論

そこで本研究では Kinect による動作計測と頭部装着型の視線計測装置による視線計測を利用して簡易に QE を計測する手法を提案した。QE を計測するためには選手の動作と視線データを紐づける必要があるが、動作検出を Kinect によるジェスチャー認識で行ったことで、従来手作業で行われ煩雑であった動作の検出が半自動化され、簡単に行えるようになった。また、QE を定量的に定義づけることができた。

また、従来の視線データに加えて瞳孔径を用い、隠れマルコフモデルによる状態分割を行う手法を提案した。これにより動作中の状態とその持続性を分析することができ、1 点を注視できているかどうかを数値化することができる。

実際にゴルフのパターにおいて QE の計測を行った結果、提案手法により簡易に QE を計測・分析を行うことができた。

予備実験 1 では、ゴルフ経験者と未経験者に対して QE を計測する実験を行った。Kinect による動作の検出の精度を確かめることができ、さらには隠れマルコフモデルによる状態分割によって被験者の視線の状態が明確に分けられることが確認できた。また、経験者と未経験者においては状態の分かれ方に差異があることも示された。

予備実験 2 では、パッティングの精度の指標としてボールとカップの距離を計測する実験を行った。動画からボールとカップを検出し、自動的に距離を計算できることが確認できた。

本実験では、被験者を分けて異なるパターの訓練を行い、それぞれの訓練が QE とパッティングの精度に与える影響を評価する実験を行った。その結果、従来の QE の訓練の研究と同様の分析にとどまらず、訓練同士の効果の比較という異なる観点からの分析も行うことができた。

以上の結果から、提案した QE の計測・分析手法の有効性を示すことができた。また、QE を考慮した訓練システムの構築のための議論も行うことができた。

本研究の行動計測の部分は、JSPS 科研費 26350207 の助成を受けたものであり、ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [1] J. N. Vickers: Origins and current issues in Quiet Eye research, *Current Issues in Sport Science*, Vol.1, pp.1-11, (2016)
- [2] A. Klostermann, R. Kredel, and E.-J. Hossner: On the interaction of attentional focus and gaze: the quiet eye inhibits focus-related performance decrements, *Journal of Sport and Exercise Psychology*, Vol.36, pp.392-400, (2014)
- [3] J. Causer, S.-J. Bennett, P. S. Holmes, C. M. Janelle, and A. M. Williams: Quiet eye duration and gun motion in elite shotgun shooting, *Medicine and Science in Sports Exercise*, Vol.42, pp.1599-1608, (2010)
- [4] J. N. Vickers: Visual control when aiming at a far target. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, Vol.22, No.2, pp.342-354, (1996)
- [5] S. J. Vine, and M. R. Wilson: The influence of quiet eye training and pressure on attention and visuomotor control, *Acta Psychologica*, Vol.136, pp.340-346, (2011)
- [6] 水崎佑毅, 中本浩揮, 森司朗: バスケットボール非熟練者を対象とした Quiet Eye トレーニング時の視覚遮蔽がフリースローの正確性に及ぼす影響, *鹿屋体育大学学術研究紀要*, 第 47 号, pp.21-28, (2013)
- [7] Ding, Ing-Jr, and Che-Wei Chang: An eigenspace-based method with a user adaptation scheme for human gesture recognition by using Kinect 3D data, *Applied Mathematical Modelling*, Vol.39, No.19, 5769-5777, (2015)
- [8] F. Jiang, S. Zhang, S. Wu, Y. Gao, and D. Zhao: Multi-layered gesture recognition with kinect, *Journal of Machine Learning Research*, Vol.16, No.2 pp.227-254, (2015)
- [9] 白山晋, 並木正信, 今福翔太, 大澤理恵: オフィス業務改善のための心理状態評価に関する研究, *信学技報*, Vol.116, No.117, AI2016-11, pp.55-50, (2016)
- [10] A. Moran, A. Quinn, M. Campbell, B. Rooney, N. Brady, and C. Burke: Using pupillometry to evaluate attentional effort in Quiet eye: A preliminary investigation. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*, Vol.5, No.4, pp.365-376, (2016)
- [11] S. J. Vine, L. J. Moore, and M. R. Wilson: Quiet eye training facilitates competitive putting performance in elite golfers, *frontiers in Psychology*, Vol.2, No. 8, (2011)
- [12] R. R. D. Oudejans, S. Heubers, J. A. C. Ruitenbeek, and T. W. J. Janssen: Training visual control in wheelchair basketball shooting, *Research Quarterly for Exercise and Sport*, Vol.83, pp.464-469, (2012)