

ASD 児の眼球運動：顔認識における眼球運動の分析

菊野 雄一郎

(保育学科)

Eye-movement of ASD: Analysis of Eye Movement on Face Recognition.

Yuichiro KIKUNO

キーワード：ASD、顔認識、早期発見、眼球運動、注意

ASD, Face Recognition, Early Detection, Eye-movement, Attention

1. 要約

本論文では、自閉スペクトラム症（ASD：Autism Spectrum Disorder）を伴う子どもの顔の認識における眼球運動についての研究を展望し、ASD児の眼球運動の特徴を明らかにするとともに、ASD児の特徴的な眼球運動が生じる原因は何か、さらに眼球運動を用いてASDを診断する可能性について検討する。

2. 乳児の顔認識

日常生活で、目の前の人の気持ちや感情を推測することは、コミュニケーションを行う上で重要なことである。そのため、我々が人の顔をどのように認識するかということは、日常生活を送るうえで大変重要な認知過程である。特に、言語的コミュニケーションが発達途上にある乳幼児にとって、養育者など目の前の人の顔をいかに認識するかは、日々の生活で大変重要なプロセスとなっている。たとえば、顔の情報から、まずは目の前の相手が養育者かそれ以外の人であるかを識別できる。さらに、相手の顔を見ることによって、相手の感情や意図など心の状態を推測でき、乳児や幼児にとって大変重要な認知である。

それでは、出生して間もない乳児は、顔を認識す

るのであろうか。この点について、乳児の顔認識の研究では、生後すぐの段階であっても、乳児はヒトの顔を注視し、顔に含まれる情報を認識できることが示唆されている。例えば、Salapatek（1975）は、新生児が顔刺激を目の前にしたときの視覚走査を調べている。その結果、新生児であっても、顔を構成する要素を中心に体系的に走査することが示唆されている。また、Fanz（1969）は、乳児の刺激への偏好性を調べている。その結果、乳児は同心円や色の刺激よりも、顔刺激により多く注視することを示している。これらの研究結果は、新生児であっても、顔を漠然と見るのではなく、相手を認識するのに重要な顔の情報を注視することを示唆している。

3. ASDの顔認識

ASD児は、定型発達（TD：Typical Development）児と同じように顔を認識しているのだろうか。DSM-5では、ASDの診断基準の一つとして、社会的コミュニケーションおよび相互関係における持続的障害が記述されている（American Psychiatric Association, 2013）。社会的コミュニケーションおよび相互関係における持続的障害を伴うASD児においても、顔の認識はTD児とは異なるのだろうか。

顔の認識を調べる実験パラダイムとして、サッチャー錯視を用いる方法がある。サッチャー錯視の実験では、実験参加者に提示する顔刺激を倒立して提示する条件と正立して提示する条件での顔の認識の仕方を比較する。その結果、ヒトの顔を倒立して提示すると、正立して提示した場合に比べ、顔の識別が困難になる。この現象を倒立効果 (inversion effect) という (Yin, 1969)。倒立顔と正立顔では、顔の構成要素が同じであることから、顔についての全体的処理によって倒立効果が生じると仮定される。サッチャー錯視などで倒立効果が生じるかどうかによって顔認識を検証できる。ASD児とTD児の倒立効果を比較した研究では、TD児に比べASD児では、この倒立効果が小さいことが認められている (Behrmann, et al., 2006)。これらの結果から、ASD児の顔認識の仕方がTD児と異なることが示唆される。

4. ASD児の顔の認識と眼球運動

それでは、ASD児の顔認識は、TD児とどのように異なるのであろうか。顔認識の指標として、視線解析装置を用いた眼球運動に関する研究が多く見られる。特に乳幼児の場合、言語的・非言語的な反応の測定が困難であり、視線解析装置での眼球運動が乳児の顔の認識を検討する上で有効な指標と考えられる。そこで、本研究では、眼球追跡装置を用いた眼球運動に関する研究を中心に、TD児とASD児の眼球運動はどのように異なるのか、なぜTD児とASD児の眼球運動は異なるのかについて見てみたい。

1) ASD児の眼球運動の特徴

ASD児の眼球運動にはどのような特徴があり、TD児の眼球運動とはどのように異なるのであろうか。また、眼球運動でASDの男女において違いは見られるのであろうか。これら点について研究を概観したい。

(1) ASD児とTD児の眼球運動の違い

眼球運動はASD児とTD児で異なるのであろう

か。Black, Chen, Iyer, Lipp, Bölte, Falkmer, Tan, & Girdler (2017) は、顔の感情認識 (FER: facial emotion recognition) の困難さを視線解析 (ET: Eye tracking) と脳波 (EEG: Electroencephalography) を用いて検討している。研究に際して、ETとEEGが、ASDにおけるFERの基礎のメカニズムへの解明の重要な手掛かりを与えてくれると仮定している。具体的には、視覚処理経路において、ASD児・者とTD児・者との違いが見られ、その違いがASD児・者による顔の感情認識に影響すると仮定している。

そこで、Blackらは、ETまたはEEGを調査した54の研究を系統的にレビューしている。その結果、ASD児・者の視覚処理経路において、TD児・者と違いがあることが認められている。これらの結果は、ASD児における社会脳の機能の特異性が、顔の感情の処理に影響を与え、その結果としてETとEEGの違いをもたらしたことを示唆している。

それでは、ASD児の眼球運動については、TD児とどのような違いが見られるのであろうか。Tottenham, Hertzog, Gillespie-Lynch, Gilhooly, Millner & Casey (2014) は、顔の表情を判断する際に、ASDの多くで障害が見られることに注目し、顔に対する扁桃体反応と視線 (eye-gaze) の関係を調べている。その結果、TD児に比べ、ASD児は顔の目の領域への注視が少ないことが認められた。また、ASD児では、注視が減少する反応は、中性的な顔への恐怖評価と関連していた。さらに、扁桃体信号は、ASD群で上昇した。この上昇した反応は、眼の領域への視線を実験的に操作することでさらに強化された。視線操作による促進は、眼の領域に対して自然に発生する視線の量が最も少なく、主観的な恐怖評価と関連していた参加者において最大であった。効果は中立的な顔で最大であり、ASDを調べる際に中立的な顔を用いて調べることが重要であることを示唆している。

(2) ASD児は頭と目のどちらを視線追跡しているのか

目の前の相手がどこを見ているのかを認識する際に、ASD児は相手の顔のどの部分を見ているので

あろうか。ASD児とTD児とでは、相手がどのように行動するのかを判断をする際に、相手のどのような情報が手がかりになるのであろうか。Thorup, Nyström, Gredebäck, Bölte & Terje Falck-Ytter (2016) は、この点について、ASD児とTD児とでは判断の基準がどのように異なるのかを調べている。

ASDの家族性リスクが高い10か月の乳児（高リスク群）とASDの家族歴のない乳児（低リスク群）を参加児として、視線解析装置（Eye tracking）を用いて、視線追跡（gaze following）を測定した。登場人物（実験者）が周りに置かれた事物を見ている場面を乳児に提示し、乳児が登場人物のどの部分を見ているのかを視線解析装置を用いて測定した。

実験場面の内容は次の通りであった。実験が始まると、まず登場人物は乳児を見て名前を呼び乳児の注意を引いた。そして、2つの穴が空いたボードが実験者の周りに置かれ、ボードの穴からネズミ、赤ちゃん、毛で覆われた動物、サルなどの人形が現れる。その際に、登場人物はまず乳児の顔を見て、その後で2つの人形のどちらかを注視した。乳児の前に置かれた視線解析装置を用いて乳児の視線を記録した。

実験では、登場人物が目と頭の両方を動かして人形を見るEyes and Head条件と、頭を動かさず目だけを動かして人形を見るEyes Only条件の2条件が設けられ、両条件での行動が比較された。その結果、低リスク群の2条件の乳児では視線追跡の正確度（gaze following accuracy）に差は見られなかったが、高リスク群の乳児では目のみを動かすEyes Only条件よりも目と頭を動かすEyes and Head条件で登場人物者の視線をより多く追跡する傾向が見られた。これらの結果は、ASDのリスクがある乳児は、視線を追跡するときに目という部分領域よりも頭からの情報に依存している可能性があることを示唆している。

(3) 複雑な感情と単純な感情の認識における眼球運動

ASD児は相手の感情を認識する際に、相手の顔のどの部分を視線追跡するだろうか。認識する感情

によって、顔に対する眼球運動は異なるのであろうか。ASD児は幸せや悲しみのような単純な感情の認識は容易であるが、嫌悪感や怒りなど複雑な感情の認識は困難であることが明らかになっている（Ashwin, Chapman, Colle & Baron-Cohen, 2006など）。それでは、複雑な感情を認識する際と単純な感情を認識する際に、眼球運動はどのような違いが見られるのであろうか。また、TD児とASD児では眼球運動はどのように異なるのであろうか。

Tsang (2018) は、この点について、ASD児とASDでない子どもを参加者として、視線解析実験を行っている。その実験では、単純な感情と複雑な感情を識別する時の注視時間とスキャンパス（scan paths）を評価した。参加者に、人の写真を見せ、感情の識別、ネガティブーポジティブの感情の方向、および感情の強さの程度を判断させた。その結果、視線解析データを群間で比較すると、顔の感情を識別するために、ASD群で非定型的な感情処理があった。ASD群は、顔の感情認識課題では、ルールに縛られたカテゴリカルアプローチ（rule-bound categorical approach）と特徴処理ストラテジー（featured processing strategy）を用いる傾向が示された。したがって、ASD群は、「ルールに沿ったアプローチ」で幸福や悲しみなどの明白な感情をより簡単に区別できた。しかし、彼らは嫌悪感や怒りなどの内的感情の場合、より一貫性のない行動を示し、感情的な知覚をする際に、より多くの認知的ストラテジーを用いる必要がある。複雑な感情を判断するときに、ASDの視線解析の注視時間では、コントロール群と有意差が認められ、「イン」視線（"in" gazes）の減少と「アウト」視線（"out" gazes）の増加が認められた。これらの結果は、ASD者が複雑な感情を判断する時に、TD者と異なる特徴的な眼球運動を示すことを示唆している。

(4) ASD児における眼球運動の男女差

ASDの発症率は女性よりも男性で高いことが報告されている（Baron-Cohen, 2002など）。アイトラックにおいても、ASDの男児と女児で、違いが見られるのであろうか。Harrop, Jones, Zheng,

Nowell, Schultz & Parish-Morris (2019) は、顔を含む社会的刺激への注意の減少に関するASDの性差について検討している。

Harropらは、眼球運動測定装置を使って、ASD症状がある男児と女児とASD症状のない男児と女児で、社会的刺激である顔に対する注意を測定した。実験では、参加者に2種類のビデオ画像を提示した。2種類のビデオ画像は、2人の子どもの間の二項間の遊びをしている社会性が豊かな場面と、2人の子どもの平行遊びをしている社会性が乏しい場面であった。その結果、性別×診断×条件の3次の交互作用が有意であった。すなわち、社会性が乏しい場面では、ASD女児は、ASD男児よりも顔に多く注意した。この効果は、TD群では見られなかった。ASD男児は、社会的場面に関係なく、顔への注意が少なかった。しかし、社会性が豊かな場面では、ASD女児は、TD女児に比べ、顔への注意が大幅に少なかった。どちらの場面でも、TD男児とASD女児の間で、顔への注意に差はなかった。これらの結果は、ASD女児の社会的な関心は、ASD男児よりも大きい、TD女児よりも小さいことを示唆している。

2) ASD児の特徴的な眼球運動が生じる原因

多くの研究では、TD児に比べASD児は人の顔への注視が少ないことが報告されている。なぜASD児は、人の顔への注視が少ないのであろうか。その原因について検討したい。

(1) Disengagementと顔刺激への注意

ASD児が人の顔に対して注視する反応が少ない理由の一つとして、顔刺激に対する生得的で自動的な注意の強度が仮定される。すなわち、TD児は顔刺激に注意を引き付けられるより強固な生得的特性があるのかもしれない。それに対してASD児は顔刺激に対して注意を引き付ける生得的特性が低いことが仮定される。この点について、Katarzyna, Fred & Ami (2010) はASDのDisengagementに注目している。Disengagementとは、顔刺激への固執的な注意から解放される力である。TD児よりも

ASD児の方が、Disengagementが強いのではないかと仮定している。すなわち、TD児は目の前に顔があらわれると、顔に注目する傾向が強く、顔刺激から注意をそらすのに多くの努力が必要となるのであろうと仮定される。それに対して、ASD児はDisengagementが強く、目の前に顔があらわれても、顔に注目する傾向が弱く、顔刺激から注意をそらすのに多くの努力を必要しないと仮定される。

そこで、Katarzynaらは、生後の早期の段階で、ASD児は顔に対するDisengagementがTD児と異なるのかどうかを調べている。そのため、ASDの幼児、自閉性が見られない発達遅滞の幼児、TD幼児を参加児として実験を行っている。参加児の生活年齢はほぼ同じであった。実験では、参加児に顔刺激または顔以外の刺激を中心固定刺激として提示し、中心刺激の周辺に周辺ターゲットを提示する課題を作成し、周辺ターゲットへの注意を調べることで、Disengagementが生じるかどうかを調べている。

実験は、「非社会刺激試行 (nonsocial trials)」と「社会刺激試行」で構成されていた。非社会刺激試行では、モザイクに変換された顔刺激が提示された。社会刺激試行である「直視 (Direct gaze)・非直視 (Averted gaze) 試行」では、登場人物の女性の顔画像が提示された。直視試行では、顔刺激の登場人物の視線が、「(1) 参加児に向けられ、(2) 瞬きをし、(3) 参加児に視線を向け、(4) 左もしくは右を見る」という順序の動画を提示した。非直視試行では、「(1) 登場人物の女性が目を閉じた後、(2) 目を開けて両サイドを見る顔刺激」を提示した。「ターゲット刺激」は、カラーの漫画キャラクターであり、顔画像の右もしくは左に提示された。参加児は、次の2条件のどちらかに割り当てられた。非社会刺激試行を10回実施しその後で直視試行を64回実施するか、もしくは非社会刺激試行を10回実施しその後で非直視試行を64回実施するかのどちらかであった。

その結果、サッケード反応時間 (Saccadic reaction time) については、ASD児よりも発達遅滞児とTD児の方が、顔から視覚的注意を引き離すのが困難であった。この傾向は、非顔刺激では認められ

なかった。これらの結果は、ASD幼児は、ASDのない幼児と同じ程度に顔に注意をひきつけられることを示唆している。

(2) 一般的注意力の欠如

TD児に比べてASD児は、顔刺激を追跡し注意をすることが少ない原因のひとつとして、ASD児は顔だけでなく一般的に注意を向ける力が少ないことが仮定されている (Chawarska, Macari & Shic, 2012)。一般的な注意力の不足により、顔刺激への注意が少なくなるのであれば、ASD児の注意力が促進することで、ASD児の顔刺激への注視が増加するのではないだろうか。

この点について、Chawarska, Macari & Shic (2013) は、乳児の眼球運動を用いて検討している。実験では、乳児に登場人物（女性）が出演するビデオ画像を提示した。ビデオ画像の内容は、登場人物がサンドイッチを作り、時折カメラを見たり、子どもにアイコンタクトを送ったり言葉かけをしたり、サンドイッチを作る作業に戻ったり、四隅に配置されたおもちゃを見るといったものであった。視線は視線解析装置によって記録された。

その結果、コントロール群に比べ、後にASDと診断された生後6か月の乳児は、社会的画像に対する注意が少なかった。またASD児が画像を見たときに、登場人物の顔を注視する時間が少なかった。また、事物に対する注意が高まっても、登場人物の行動への注意が強くなることはなかった。これらの結果は、6か月でのASDの前兆症状として、人の活動に自発的に注意する能力の低下が見られることを示唆している。また、ASD児の顔刺激への注意力が少ない原因が、注視力の欠如によるものではないことを示唆している。

3) ASDを予測する指標としての眼球運動

多くの研究で、ASD児はTD児と異なる眼球運動を示すことが明らかになっている。それでは、眼球運動を分析することによって、ASD児の早期発見は可能なのだろうか。この点について、Wan, Kong, Sun, Yu, Tu, Park, Lang, Koh, Wei, Feng,

Lin & Kong (2018) は、顔刺激の口と身体に対する注視時間を分析することによって、ASD児とTD児を判別できることを見出し、眼球運動によって、ASD児の早期発見の可能性を示唆している。それでは、眼球運動のどの側面がASD児の早期発見の指標になるのだろうか。

(1) コミュニケーション障害の予測指標

社会的コミュニケーション障害はASDの中心的な特徴である。この社会的コミュニケーションスキルを予測できる指標は何であろうか。社会的コミュニケーションスキルを予測できる指標をASDの早期発見に用いることは可能であろうか。そこで、Murias, Major, Davlantis, Lauren Franz, Harris, Rardin, Sabatos-DeVito & Dawson (2016) は視線解析 (eye-gaze tracking : EGT) を指標の一つとして検討している。視線解析を用いた社会的注意の測度は、早期の有効なバイオマーカーになる可能性があり、EGT測度によって、ASD児とTD児を判別できるだろうと仮定している。ただし、ASD臨床試験で通常使用される社会的コミュニケーションの評価基準 (outcome measure) との関係についてはあまり知られていない。

Muriasらは、ASD児を対象に、子どもの注意を喚起させようと努力する登場人物のビデオ画像を子どもに提示し、視線解析を行っている。実験では、視線解析課題で、登場人物が子どもに直接話しかけているビデオ画像をASD児に見せて行動が評価された。実験には、ASD児とTD児が参加した。参加児に提示されたビデオ画像は、10秒の無声画像で、登場人物の女性がアルファベットを口の動きで伝える内容であった。実験では、凝視のパターンが記録された。凝視時間は、背景、身体、髪、顔、目、鼻など10の視線領域であるAOI (areas-of-interest) について分析された。

その結果、TD児に比べASD児は、目、口、鼻、身体、人、顔、および外見 (髪と身体) のAOIの領域で、注視時間が有意に短かった。さらに、判別分析を行ったところ、口と身体の注視時間によって、ASD児とTD児を有意に判別できることが認められ

た。これらの結果は、ビデオの注視時間によって、ASD児とTD児を判別するのに十分な情報を得ることが可能であることを示唆している。これらの結果は、10秒ほどの短時間でビデオ画像に提示された顔への注視時間を記録し分析することで、ASD児を早期診断できる可能性を示唆している。

(2) 眼球運動の特徴は生後何か月で生じるのか

それでは、ASD児の特徴的な注視は何か月で生じるのであろうか。また、出生後すぐの段階でも、ASD児の注視は、TD児よりも短いのであろうか。Jones & Klin (2013) は、ASD乳児において、生後2か月から6か月までの間で、注視時間が低下していくことを明らかにしている。しかし、この社会的適応行動の基本的なメカニズムであるeye lookingは、生後の数か月で、後にASDと診断された乳児ではすぐには減少しないことも明らかにしている。

JonesとKlinは、実験で子どもにビデオ画像を提示した。ビデオ画像では、登場人物の女性がカメラを見て、子どもにゲームに参加するように誘う内容であった。画像は、子ども部屋に写真、おもちゃの棚、ぬいぐるみなどが配置された自然な環境の中で撮影された。

前向き縦断研究 (prospective longitudinal study) で、後にASDと診断された乳児については、生後2か月から6か月までの間で、注視が低下することが認められた。しかし、ASDを発症しなかった乳児では、この現象は見られなかった。これらの結果は、乳児の注視がASDの予測的な指標になることを示唆している。

5. まとめ

本論文では、ASD児の眼球運動についての研究を展望した。特に、ASD児の眼球運動の特徴、ASD児の特徴的な眼球運動を生じる原因、ASDを予測する指標としての眼球運動が利用できるのかの3つの視点について、眼球運動の研究を展望した。

ASD児の眼球運動の特徴については、以下のことが明らかになった。まず、ASDは顔の目の領域

への注視が少ないことが認められた。また、ASDのリスクがある乳児は、視線を追跡するときに、目だけの情報よりも頭からの情報に依存する可能性があることが認められた。ASD児が複雑な感情を判断する時に、TD児と異なる特徴的な眼球運動を示すことが認められた。さらに、ASDの男女差について、ASDの女性は、ASDの男性よりも顔に対する注意が多く見られた。これらの結果は、ASDの眼球運動はTD児と異なることを示している。

それでは、ASD児はなぜTD児と異なる眼球運動を示すのであろうか。ASD児の特徴的な眼球運動を生じる原因については、以下のことが明らかになった。ひとつの理由として、顔刺激への固執的な注意から解放される力であるDisengagementが仮定されている。ASD幼児は、ASDのない幼児と同じ程度に顔に注意をひきつけられることを示していることから、このDisengagementの可能性は否定された。もう一つの原因として、ASDは顔への注意だけでなく、一般的な注意の力が不足する可能性が仮定された。しかし、ASD児の顔刺激への注意力が少ない原因が、注視の欠如による可能性は否定された。今後、これらの点については、さらなる検討が必要であろう。

ASDの眼球運動がTD児と異なるのであれば、眼球運動を指標として使って、ASD児の早期発見に役立つのではないだろうか。眼球運動が、ASDを予測する指標となるのかについて、以下のことが明らかになった。顔刺激の口と身体に対する注視時間を分析することによって、ASD児とTD児を判別できることを見出し、眼球運動によって、ASD児の早期発見できることが示唆された。また、口と身体への注視時間によって、ASD児とTD児を有意に判別できることが認められた。さらに、生後2か月から6か月までの間で、注視が低下することが認められた。これらの結果は、生後2か月の早期での眼球運動によって、ASD児の早期発見が可能になることを示唆している。これらの研究が進むことで、ASD児の早期発見や早期支援への手がかりが得られることが期待できる。

謝辞

本研究はJSPS 科研費（課題番号19K14168）並びに令和2年度島根県立大学・島根県立大学短期大学部学長裁量経費（若手支援枠）の助成を受けたものです。

引用文献

- American Psychiatric Association (2013) *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fifth Edition, DSM-5*. American Psychiatric Association, Washington, D. C.
- Ashwin C, Chapman E, Colle L. & Baron-Cohen S. (2006) Impaired recognition of negative basic emotions in autism: a test of the amygdala theory. *Social Neuroscience* 1(3-4): 349-363.
- Baron-Cohen, S. (2002). The extreme male brain theory of autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 248-254
- Behrmann, M., Thomas, C. & Humphreys, K. (2006) Seeing it differently: visual processing in autism. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 10, 258-264.
- Black, M.H., Chen, N.T.M., Iyer, K.K., Lipp, O.V., Bölte, S., Falkmer, M., Tan, T., & Girdler, S. (2017) Mechanisms of facial emotion recognition in autism spectrum disorders: Insights from eye tracking and electroencephalography. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 80, 488-515.
- Chawarska K, Macari S, Shic F. (2012) Context modulates attention to social scenes in toddlers with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*. 53(8), 903-913.
- Chawarska, K., Macari, S., & Shic, F. (2013) Decreased spontaneous attention to social scenes in 6-month-old infants later diagnosed with autism spectrum disorders. *Biological Psychiatry*, 74(3), 195-203.
- Fantz, R. L. (1963) Pattern vision in newborn infants. *Science*, 140, 296-297.
- Harrop, C., Jones, D., Zheng, S., Nowell, S., Schultz, R., & Parish-Morris, J. (2019) Visual attention to faces in children with autism spectrum disorder: are there sex differences? *Molecular Autism*, 28, 10: 28.
- Jones, W., & Klin, A. (2013) Attention to eyes is present but in decline in 2-6-month-old infants later diagnosed with autism. *Nature*. 504(7480), 427-31.
- Katarzyna, C., Fred, V., & Ami, K. (2010) Limited attentional bias for faces in toddlers with autism spectrum disorders. *Archives of General Psychiatry*, 67(2), 178-85.
- Murias, M., Major, S., Davlantis, K., Lauren Franz, L., Harris, A., Rardin, B., Sabatos-DeVito, M., & Dawson, G. (2016) Validation of eye-tracking measures of social attention as a potential biomarker for autism clinical trials. *Autism Research*, 11(1), 166-174.
- Salapatek, P. (1975) Pattern perception in early infancy. In L.B. Cohen & P. Salapatek (Eds.), *Infant perception: From sensation to cognition, Vol 1*. New York: Academic Press.
- Thorup, E., Nyström, P., Gredebäck, G., Bölte, S., & Terje Falck-Ytter, T. (2016) Altered gaze following during live interaction in infants at risk for autism: an eye tracking study. *Molecular Autism*, 26, 7: 12
- Tottenham, N., Hertzog, M.E., Gillespie-Lynch, K., Gilhooly, T., Millner, A.J., & Casey B.J. (2014) Elevated amygdala response to faces and gaze aversion in autism spectrum disorder. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 9(1), 106-17.
- Tsang, V. (2018) Eye-tracking study on facial emotion recognition tasks in individuals with high-functioning autism spectrum disorders. *Autism*. 22(2), 161-170.
- Yin, R. K. (1969) Looking at upside-down faces. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 141 -145.
- Wan, G., Kong, X., Sun, B., Yu, S., Tu, Y., Park,

J., Lang, C., Koh, M., Wei, Z., Feng, Z., Lin, Y., & Kong, J. (2018) Applying Eye Tracking to Identify Autism Spectrum Disorder in Children. *The Journal of Autism and Developmental Disorders*. 49(1), 209-215.

(受稿 2021年9月30日, 受理 2021年11月10日)