

論文の内容の要旨

成長期サッカー選手の選択反応の発達と生物学的成熟度の関係

広瀬 統一

サッカーなどの球技系スポーツでは、常に変化する外的状況に対して素早く正確に判断する必要があり、そのような環境で最高度のスキルを発揮するためには、認知や判断など中枢での情報処理能力が優れている必要がある。このような中枢情報処理能力を非侵襲的に評価する指標として選択反応時間や事象関連電位 (Event-related-potential: ERP) が用いられている。ERP の中でも刺激発生から 200msec 前後に現れる N200 潜時や 300msec 前後に現れる P300 潜時といった成分がそれぞれ刺激弁別 (認知) および運動の意志決定 (判断) を表すことが知られている。

このように評価された中枢情報処理能力は成長期に著しく発達することが知られているが、この時期には暦の上での年齢 (暦年齢) と生物学的成熟度 (骨年齢) の発達が一樣でなく、早熟や晩熟といった現象が現れる。この個体差が様々な生理学的発達に影響を及ぼしているにもかかわらず、中枢での情報処理過程の発達を生物学的成熟度との関係から検討した例は見られない。従って本研究では競技レベルの高い成長期サッカー児童の中枢情報処理能力の特徴を競技レベルの低い児童と比較することで明らかにし、さらに反応時間、ERP を用いて評価した中枢情報処理能力と骨年齢との関係を明らかにする事を目的とした。

[実験 1]成長期サッカー選手の選択反応能力を評価するため、10 歳から 12 歳の競技レベルの高いサッカー児童 70 名 (11.5 ± 1.0 歳) と競技レベルの低いサッカー児童 34 名 (11.7 ± 0.8 歳) の手 (HRT)、足 (FRT)、手足同時 (CRT) の視覚的選択反応時間を Talent - Diagnose - System (TDS) を用いて測定した。その結果、競技レベルの高い児童の 10、11、12 歳の CRT (864 ± 125 msec、 799 ± 92 msec、 780 ± 81 msec) は低い児童 (984 ± 74 msec、 946 ± 110 msec、 876

±139msec) に比して有意に優れた値であった。一方 FRT は 10 歳と 11 歳で競技レベルの高い児童が有意に優れており、HRT は全ての年齢で両群に有意差が認められなかった。これらの結果は成長期サッカー児童の中枢情報処理能力に、瞬間的に全身を協応させて反応するという競技特性が反映されている可能性を示唆するものであり、今後中枢情報処理能力を評価する際は、手足同時の条件で評価する必要があると考えられた。

[実験 2]9 歳から 14 歳の競技レベルの高いサッカー児童 (121 名、12.1±1.5 歳) の選択反応時間と生物学的成熟度の関係を検討するため、左手関節のレントゲン写真から Tanner-Whitehouse II 法 (TW II 法) の Radius-Ulna-Short bone (RUS) スコアを用いて骨成熟度を評価し、骨成熟度を村田らの日本人標準骨年齢概算表を用いて骨年齢を算出した。選択反応時間測定項目と方法は実験 1 と同じとした。その結果、成長期サッカー児童の骨年齢の特徴として 10 歳までは骨年齢が暦年齢を下回るもしくは同等であるのに対し、11 歳から 14 歳で骨年齢が暦年齢を上回る傾向が示された。また、この時期には骨年齢の個体差が大きく現れていた。

一方全ての年齢を 9~11 歳と 12~14 歳に分けて CRT、FRT、HRT の横断的变化を検討すると、CRT は 9~11 歳 ($r=-0.39$) にかけて 12~14 歳の 3 倍の速さで短縮した。一方 HRT、LRT は 9~11 歳と 12~14 歳で直線回帰係数に顕著な差がなく、その傾きも CRT の 12~14 歳におけるものと同様であった。

さらに CRT は暦年齢 ($r=-0.49$) だけでなく骨年齢 ($r=-0.52$) と有意に相関し、暦年齢では 9 - 10 歳群から 11 - 12 歳群で有意に短縮するのに対し、骨年齢では 11 - 12 歳群から 13 - 14 歳群で有意に短縮した(表 1)。これらの結果から、競技レベルの高いサッカー児童は 10 歳から急激に骨年齢が成熟し、骨年齢の変化が選択反応時間の変化を反映することが示唆された。

[実験 3]実験 2 で示された CRT 変化と骨年齢変化の関係をより詳細に検討するため、10 歳 (10.6 ±0.4 歳) の競技レベルの高いサッカー児童 17 名を対象として実験 2 と同様の方法で得られた CRT と骨年齢を 2 年間継続して検討した。その結果、CRT は 10 歳 (835±150msec) から 11 歳 (631±98msec) にかけて有意に短縮し、11 歳から 12 歳では顕著な変化を示さなかった。一方、10 歳の暦年齢 (10.6±0.4 歳) と骨年齢 (10.6±1.5 歳) が同程度であるのに対し、11 歳で

Age Group	Chronological age			Skeletal age		
	n	Mean	SD	n	Mean	SD
8				6		
Height (cm)					134.6	4.4
Mass (kg)					30.0	2.1
Reaction time (msec)					889	135
9-10	33			20		
Height (cm)		138.3	5.0		138.9	5.1
Mass (kg)		32.4	3.7		32.2	3.7
Reaction time (msec)		892	134		904	122
11-12	49			35		
Height (cm)		154.2	9.2		146.7	6.3
Mass (kg)		43.8	8.9		37.7	4.7
Reaction time (msec)		786	88		821	104
13-14	39			43		
Height (cm)		166.2	5.4		162.9	6.0
Mass (kg)		55.6	7.4		51.2	6.4
Reaction time (msec)		744	77		748	87
15-16				17		
Height (cm)					169.8	3.9
Mass (kg)					60.8	6.5
Reaction time (msec)					743	74

表 1: 年齢群別身長・体重・CRT の平均±標準偏差

は有意に骨年齢 (12.0 ± 1.1 歳) が暦年齢 (11.6 ± 0.3 歳) を上回り、10 歳から 11 歳にかけての骨年齢増加量が 1.4 ± 0.9 歳で暦年齢の年間増加量を有意に上回った。さらに CRT の年間短縮量と骨年齢の年間増加量が $r = -0.45$ ($p < 0.01$) と中等度の相関を有した。これらの結果は、横断的検討において示された CRT の変化と骨年齢の関係を裏づけるものであると考えられる。

[実験 4] 実験 2・3 で示されたように骨年齢が急激に増加する時期に選択反応時間も短縮する傾向を示す。しかしながら選択反応時間が筋収縮時間も含んでいるため、中枢情報処理能力を評価するには筋収縮開始以前の情報処理に要する時間について検討する必要がある。従って本研究では、選択反応時間を刺激発生から筋が収縮するまでの時間 (プレモータータイム) と筋収縮から運動が発現するまでの時間 (モータータイム) に分類し、選択反応時間との関係について検討した。また、大脳皮質での認知と判断に要する時間を ERP で評価し、選択反応時間との関係を検討した。そしてこれらの指標と骨年齢の関係について横断的に検討した。対象は成長期サッカー児童 18 名 (11.7 ± 0.9 歳) で全員右利きであった。被験者は床上 70cm に設置されたディスプレイから 150cm 離れた椅子で膝関節 70 度、足関節 90 度で安静椅座位をとった。反応刺激は視覚刺激とし、課題は標的刺激 (20%) と 2 種類の非標的刺激 (80%) をランダムにディスプレイ上に表示し、被験者は標的刺激にのみ手足同時にボタンを押すオドボール課題とした。手 (*HRT*) 足 (*FRT*) の選択反応時間を測定し、測定中の筋電図を右拇指屈筋 (長拇指屈筋) と右足関節底屈筋 (腓腹筋内側頭) から導出し、プレモータータイムとモータータイムを同時に評価した。

また、測定中の脳波を頭皮上の前頭部、中心部、頭頂部から導出し、中心部における N200 と頭頂部における P300 を認知および判断の指標として評価した。これらの測定は全てニューロパック (MEB-2200、日本光電社製) を用いて行った。生物学的成熟度は骨年齢を用いて評価した。その結果 *HRT* ($r = 0.99$) と *FRT* ($r = 0.94$) は手足のプレモータータイムと強い相関を示すものの、モータータイムとは有意な相関を示さなかった。さらに *HRT* ($r = 0.81$) および *FRT* ($r = 0.73$) は共に N200 潜時と相関を持ち、*HRT* は P300 とも緩やかな相関 ($r = 0.57$) を有した。一方 *FRT* は P300 と有意に相関しなかった。

Age group		10	11	12
CA		10.7±0.2	11.8±0.1	12.7±0.2
SA		10.9±1.2	12.3±1.1	13.4±0.9
RT	Hand	462.4±34.8	418.6±89.8	350.3±44.0
	Foot	544.4±61.2	518.0±107.2	448.6±32.6
PMT	Hand	382.2±32.4	348.3± 96.6	278.1±39.7
	Foot	402.1±50.5	387.8±80.1	317.9±16.7
MT	Hand	80.2±13.3	70.4±15.7	72.2±7.1
	Foot	142.2±31.3	130.2±35.2	130.7±27.1
N200		315.1±24.9	301.0±46.4	275.4±25.1
P300		450.2±69.0	410.4±70.9	392.1±27.1

表 2：暦年齢群別の各測定項目の平均値±標準偏差

暦年齢、骨年齢別の選択反応時間、プレモータータイム、モータータイム、N200、P300の横断的变化を検討すると、*HRT*は暦年齢、骨年齢の増加とともに短縮した ($r=-0.63$, $r=-0.59$)。一方 *FRT* は暦年齢の増加とともに短縮するが ($r=-0.50$, $p<0.05$)、骨年齢の方が *FRT* とより強く相関 ($r=-0.62$, $P<0.01$) した。一方手のプレモータータイムは暦年齢、骨年齢の増加とともに短縮し ($r=-0.59$, $r=-0.60$)、足のプレモータータイムは暦年齢 ($r=-0.58$, $p<0.05$) よりも骨年齢 ($r=-0.63$, $p<0.01$) と相関した。一方モータータイムは暦年齢、骨年齢ともに相関しなかった。さらに N200 潜時は暦年齢、骨年齢の増加に伴い短縮した ($r=-0.51$, $r=-0.50$)。一方 P300 潜時が骨年齢において年齢依存的に短縮する ($r=-0.50$) のに対し、暦年齢とは有意な相関を示さなかった。これらの結果から、選択反応時間の変化に対してプレモータータイムの変化、その中でも N200 が示す大脳皮質内の刺激弁別に要する時間の変化が大きくしていると考えられた。さらにプレモータータイムや N200 および P300 が示す中枢情報処理能力の変化を骨年齢変化が反映することが推測された。これらの結果から、選択反応時間によって中枢情報処理能力を把握する事が可能であり、さらに大脳皮質内の情報処理過程における変化の特徴が骨年齢評価によって詳細に把握できる可能性が示唆された。

[考察]本研究では競技レベルの高い成長期サッカー児童の中枢情報処理能力と生物学的成熟度の特徴を把握し、さらに両者の関係を横断的、縦断的に検討した。また、プレモータータイムや大脳皮質内の情報処理過程を ERP で評価し、中枢情報処理能力と骨年齢の関係を検討した。その結果、手足協応させる条件での反応時間の変化は手や足単独での反応時間と異なる結果が得られた。また競技レベルの高いサッカー児童は 10 歳頃から急激に骨年齢が促進し、その時期に手足同時の反応時間は顕著に短縮する傾向が示された。この傾向はプレモータータイムや ERP においても認められ、中枢での情報処理能力の発達は骨年齢変化の影響を受けることが示唆された。

CRT の変化要因として大脳皮質前頭葉におけるフィードバックループの形成が挙げられる。フィードバックループの形成にはトレーニングや経験などの外的情報入力が必要であり、極めて高いオープンスキルを要求されるサッカーの競技特性が要因の一つであることは充分考えられる。一方でこのようなフィードバック形成の基礎をなすものとして大脳皮質内の構造的変化も無視できない。また骨年齢が骨成熟を指標とするため、骨成熟に必要なホルモン動態も反映している可能性が考えられる。特に甲状腺ホルモン(サイロキシン)は骨成熟に対して重要な役割を担うだけでなく、脳内の樹状突起の拡大変化や有髄化にも貢献している。このように骨年齢は甲状腺ホルモンなどのホルモン分泌動態を反映することで、間接的に中枢における情報処理能力の発達に関与していることが推測できる。今後成長期サッカー選手のパフォーマンスとして認知や判断力を評価する際には、各自の生物学的成熟度も考慮して多角的に評価する必要があると考えられた。