

サッカーにおける認知的疲労：

単一事例による5週間の縦断データの検討

横田陽生[†]，原田悦子[†]，國部雅大[†]，小井土正亮[†]

Haruki Yokota, Etsuko T. Harada, Masahiro Kokubu, Masaaki Koido

[†]筑波大学

University of Tsukuba

k36yokotah@gmail.com

概要

本研究は、サッカーにおける認知的疲労についての基礎的知見と、適切な測定指標に関する情報を得ることを目的として、単一事例により5週間、サッカーの試合・練習前後様々なタイミングで5つの認知課題と疲労に関する主観的評価を行った。その結果、特に抑制機能と視空間ワーキングメモリーにおいてサッカーによる認知的疲労の影響が見受けられ、その時間変化にも複数の形態が示された。これらは、練習内容や主観的評価との関連性もみられ、サッカーにおける認知的疲労について更なる検討の必要性が示された。

1. 問題と目的

認知的疲労は長時間の認知活動により生じ、認知機能の低下を示す(Boksem & Tops, 2008)。サッカーは、多くの情報を知覚、処理し、厳しい時間的制約のなかで頻繁に意思決定を行うというプレーヤーへの高い認知的要求によって認知的疲労が生じうる(Williams & Reilly, 2010)。

現在、サッカーのトレーニングには「ピリオダイゼーション」という理論が主流となっている。これはシーズンを一定のトレーニング期間に分け、トレーニングの量や強度を適切に調整することで、効果的なトレーニングを実現し、怪我や疲労のリスクを抑えるためのものである。しかし、この理論は主に身体的疲労に注目しており、認知的疲労は十分に考慮されていない。一方、「戦術的ピリオダイゼーション」(Afonso et al, 2020)では、身体的疲労だけでなく認知的疲労や感情的疲労も考慮し、それに応じたトレーニング計画を立てることを提案している。しかし、そのためには認知的疲労について客観的な測定指標が必要であり、現在そのような指標は存在していない。そこで本研究は戦術的ピリオダイゼーションの概念のもと、サッカーにおける認知的疲労についての基礎的な知見を得ること、適切な測定指標についての情報を得ることを目的として、単一事例による5週間の縦断研究計画において、様々な認知機能に関する認知課題をサッカーの試合・練習前後様々なタイミングで実施した。

2. 方法

実験参加者：男性(22歳)1名、T大学サッカー部所属、ポジションはディフェンダー。

測定手続き：対象者が行ったサッカーの試合・練習を基点として、その1時間前、直後、3, 6, 12時間後または早朝の測定が可能なタイミングで、一定のテストバッテリーでの測定を行った。

測定指標：5つの認知課題と疲労に関連する主観的評価を実施した。

・**主観的評価** 疲労度、覚醒度、快不快をVAS(0~100に変換)で回答し、続けて疲労自覚尺度(小林ほか, 2000:16項目, 7件法)、睡眠時間(h)を回答した。

・**認知課題**

1. **フリッカー値検査：**勤労疲労の客観的検査指標であることから、フリッカーヘルスマネジメント株式会社製のソフトウェアを用いてタブレット端末で測定した。ちらつきを認識できた時の光刺激の周波数の標準値に対する比を指標とした。

2. **フランカー課題：**抑制実行機能を測定する課題として、5つ表示される矢印のうち、中央の矢印の向きを回答するプログラムを自作した。一致条件(例、→→→→→)と不一致条件(←→→←←)の2条件があり、各条件20試行ずつで40試行を1blockとして、2block実施した。さらに2block目では中央の矢印の向きの反対位置にあるボタンで回答する課題であった。誤答数、反応時間(RT)および反応時間の分散(RTV)を指標とした。

3. **有効視野課題：**Nakashima(2019)に基づいて作成された課題(原田ほか, 2022)で、中央に一瞬だけ表示される「T」の向きと、周囲に表示される数字の位置を回答するものであり、中心視からの周辺視野を測定するものであった。タブレット端末上でのアプリとして利用し、64試行を行った。表示された数字の中心からのそれぞれの距離(1~4)と正答率の積の和を成績とした。

4. **Nバック課題：**視空間ワーキングメモリーと音韻的ワーキングメモリーの機能を同時測定する課題として、3×3のマス目上に表示されるアルファベットについて、N=3として、N個前に表示された文字と同じであったか(音韻的WM)、アルファベットの位置がN個前に表示された位置と同じであったか(視空間WM)、そのいずれでもないか(NA)を回答するアプリを自作し、50試行実施した。位置での誤答数(位置)、文字判断での誤答数(文字)、NAを含む全種類における誤答数、さらに反応時間(RT)および反応時間の分散(RTV)を指標とした。

5. **Trail Making Test：**視覚探索や処理速度共に、タスクスイッチング機能を評価する課題であり、PartAとPartB(PartAは、ランダムに表示される数字を昇順にクリックする課題で、PartBでは数字とひらがなを交互にクリックする)を実施した。PartA、PartBの遂行時間、両者の差を指標とした。

実施期間：2021年4月29日より6月4日までの37日間、この間に試合5回、練習22回が含まれていた。練習は「サッカーのピリオダイゼーション」(Verheijen, 2014)を参考に練習強度が変化させられていた。

3. 結果と考察

単一事例研究であること、試合・練習の状況が毎回異なることから、基本的に試合/練習を基点とするデータの変動を視覚化し、一定の傾向が観察されるか否かを検討した。

1) 試合・練習を基点とした測定指標の時間変化

試合・練習を基点として、横軸を試合・練習からの経過時間(マイナスの値は試合・練習前の測定タイミングを表す)、縦軸を各測定指標とした。

フランクカー課題においては、試合・練習前に比べて試合・練習直後に誤答数の増加と反応時間の短縮が見られ、3時間後以降では、試合・練習前と同じ水準に成績が戻っている傾向がみられた(図1, 2). 反応時間の短縮と誤答数の増加がみられたのは、抑制機能の低下として解釈可能であり、サッカーにおける認知的疲労の1つに抑制機能の低下が考えられた. サッカーにおける意思決定はパス、ドリブル、シュートなどの多数の選択肢の中から周囲の状況変化に応じて適切なプレーを選択するという特徴があり、プレーを適切なものに切り替える必要がある. このような他のプレーの選択肢を抑制し、適切なプレーの実行に集中するという意思決定が連続的に必要であることから、抑制機能を司る認知的制御要素が大きく疲労し、機能低下をしたと考えられる。

Nバック課題においては、視空間 WM に関連する、「文字の表示位置」の誤答数(位置)が試合・練習前に比べて試合・練習直後に増加し、3時間後には試合・練習前と同じ水準に戻っている傾向がみられた(図3). 音韻的 WM に関連する誤答数(文字)については、一定の傾向はみられなかった(図4). これらの結果から、サッカーにおける認知的疲労は視空間 WM に影響があり、音韻的 WM には影響を与えないことが考えられる. これは、サッカーにおける認知が視覚を中心に行われることが理由であると考えられる。

フリッカー値検査, 有効視野課題, Trail Making Test の成績については、一定の傾向は見られなかった。

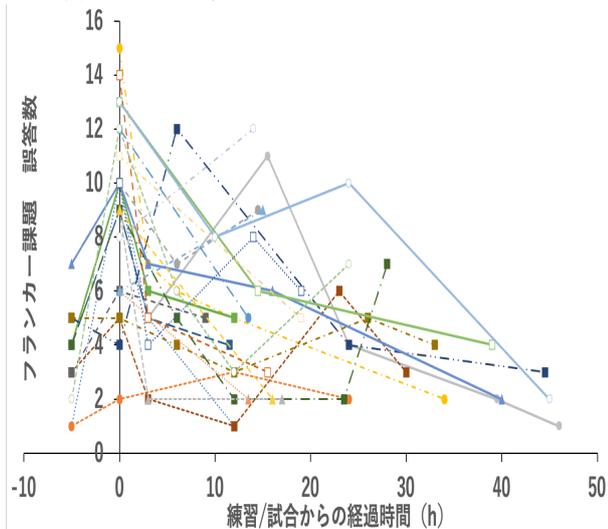


図1 フランカー課題の誤答数と試合・練習からの経過時間の関係 ※実戦は試合日を表す

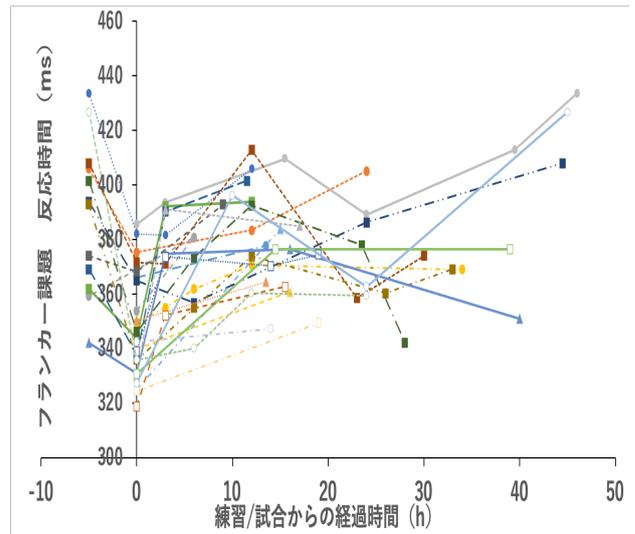


図2 フランカー課題の反応時間と試合・練習からの経過時間の関係 ※実戦は試合日を表す

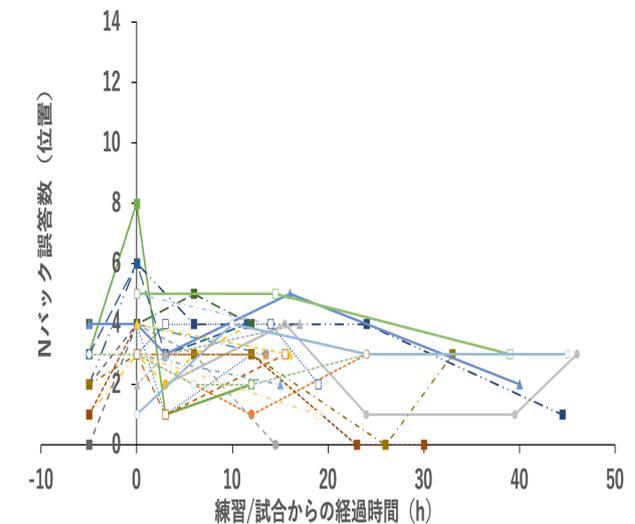


図3 Nバック課題の誤答数(位置)と試合・練習からの経過時間の関係 ※実戦は試合日を表す

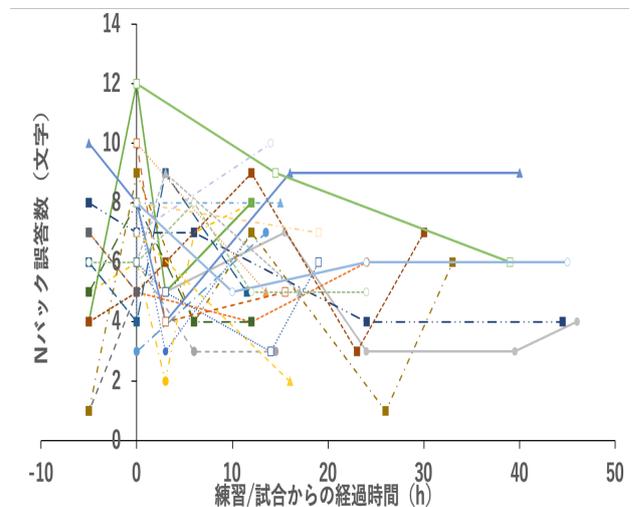


図4 Nバック課題の誤答数(文字)と試合・練習からの経過時間の関係 ※実戦は試合日を表す

2) 試合日からの経過日数と各課題成績の関係

試合日をDay0として、試合からの経過日数(DayX)と各課題成績の関係について分析した。試合日(Day0)は試合直後のタイミングで課題を実施した成績、Day1~7はそれぞれの日の早朝に課題を実施した成績を記録し、視覚化し、一定の傾向がみられるか否かを検討した。

その結果、Nバック課題における誤答数(位置)は、Day0が高く、Day2にかけて減少する傾向がみられた(図5)。この結果は、上述の試合直後にみられた視空間WMの機能低下(上述)が、Day2まで持続する、つまりサッカーの試合によって生じた視空間WMの機能低下の影響が数日にわたって持続する可能性を示唆するものとして考えられる。

その他の課題成績については、一定の傾向はみられなかった。

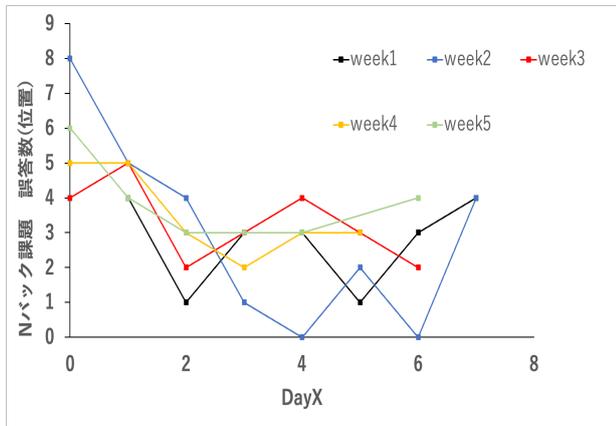


図5 Nバック課題の誤答数(位置)とDayXの関係

3) 練習内容と測定指標の関係

参加者が行った練習の内容は、試合形式のトレーニングや3vs3などの対人形式のトレーニング(対人TR)と、パスやドリブルを相手がいない中で行うトレーニングや、走り込みといったような非対人形式のトレーニング(非対人TR)の2種類に分類できる。対人TRは非対人TRに比べてサッカーにおける認知的要素を多く含むと考えられることから、各練習における対人TRの時間(M=30.2分, SD=15.9分)と練習直後の各課題成績とのピアソンの積率相関係数を求めて分析した。なお練習内容の等質性を確保するために、試合1日後に行われる身体的疲労回復のための練習日は分析から除いた。

対人TR時間とNバック課題の誤答数(位置)の間には有意な正の相関がみられた($r=.49$, $p=.013$) (図6)、対人TR時間が長いほど視空間WMが低下することが示唆された。サッカーにおいて相手がいることで生じる認知的疲労は視空間WMにおいて生じることが考えられた。

フランカー課題の誤答数と対人TR時間には有意傾向な正の相関がみられた($r=.31$, $p=.087$) (図7)。試合・練習を基点とした誤答数の時間変化の分析においては、練習・試合直後にほぼ一貫して誤答数が増加する傾向がみられたが、有意傾向にとどまる結果となった。明確な正の相関がみられなかった原因として、抑制機能の低下はサッカーにおける認知的疲労以外の要因、例えば身体的疲労や疲労度や覚醒度が大きく関係しているためと考えられた。

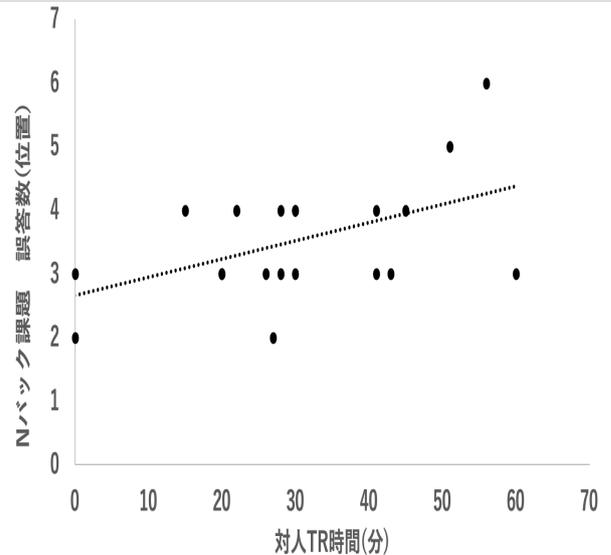


図6 Nバック課題の誤答数(位置)と対人TR時間

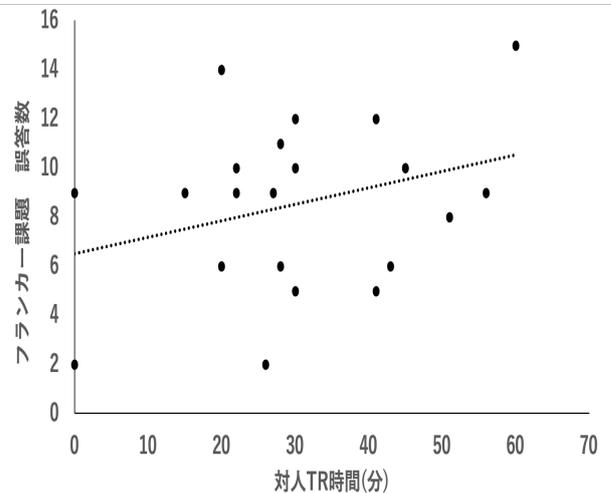


図7 フランカー課題の誤答数と対人TR時間

4) 主観的評価と各課題成績の相関分析

主観的評価と各課題成績との相関分析を行った結果を表1に示した。

主観的疲労度と主観的覚醒度は試合・練習からの経過時間と強い負の相関を示しており、サッカーをプレーすることによる影響を強くうける指標であることが示された。

フランカー課題において、誤答数は主観的疲労度、主観的覚醒度と正の相関があり、反応時間は主観的覚醒度と負の相関、疲労自覚尺度得点と正の相関がみられた。前節で考察したように抑制機能の低下に主観的疲労度や主観的覚醒度が関わっていることを示唆する結果となった。疲労自覚尺度は主観的覚醒度に関連すると考えられる質問項目が多く、主観的覚醒度と疲労自覚尺度得点の間には有意な負の相関がある($r=.26$, $p<.001$)ことから、疲労自覚尺度にも正の相関があったと考えられる。

その他でみられた相関係数では関係性があまり小さくなく、サンプル数の多さのために生じた可能性も考えられるため、ここでは積極的に解釈しないこととする。

表1 主観的評価と各課題成績の相関関係

各課題成績および練習/試合からの経過時間と、主観的評価間の相関					
	疲労度	覚醒度	快・不快	睡眠時間	疲労自覚
平均	44.83	48.65	60.73	7.17	31.46
(標準偏差)	(21.04)	(17.46)	(18.43)	(1.03)	(13.93)
フリッカー値	-.04	.17	.06	.15	-.15
フランカー誤答数	.38**	.36**	-.02	.21*	-.16
フランカーRT	-.16	-.33**	-.05	-.08	.30**
フランカーRTV	.20	-.12	-.04	.06	.11
有効視野得点	-.17	-.05	-.01	.12	-.29**
Nバック誤答(位置)	.24*	.13	-.06	-.03	-.03
Nバック誤答(文字)	.16	.25*	.01	-.02	-.01
NバックRT	-.03	-.16	-.07	-.11	-.03
NバックRTV	.00	.17	.26*	.18	.10
TMT遂行時間PartA	.09	.12	.01	.04	.13
TMT遂行時間PartB	.13	.04	.04	.10	.10
TMT(B-A)	.08	-.04	.04	.08	.03
練習/試合からの経過時間	-.52**	-.42**	.00	-.02	.14

* p<.05
** p<.01

4. 総合考察

本研究の結果から、サッカーにおける認知的疲労に関わる機能は抑制機能、視空間 WM として大きく表れることが示唆された。抑制機能の低下は、周囲の状況に合わせて適切なプレー以外のプレー選択肢を抑制し、1つのプレーの実行に集中するというサッカーにおける意思決定の特徴が、また視空間 WM の機能低下は、サッカーにおいては視覚による認知的処理が求められることが、それぞれの機能低下を引き起こしていると考えられる。

その他の認知課題においては関連性がみられなかったという結果は、サッカーにおける認知的疲労が各課題が測定している認知機能にが影響を与えていない可能性を示唆しているものと考えられる。フリッカー値検査は通常疲労度を測定するものとされるが、通常の疲労とサッカーの認知的疲労は異なることをこれらの結果は示唆している。有効視野課題は中心視からの周辺視野を、Trail Making Test は視覚探索や処理速度、タスクスイッチングを測定する課題である。つまりこの2つの課題は主に視覚情報の知覚に関わる能力を測定しており、サッカーにおける認知的疲労が、こうした知覚的視覚情報処理に影響を与えないという結果は予想とは反するものであった。しかし、反対にフランカー課題と N バック課題では知覚した情報を高次に処理機能を測定する課題であり、サッカーにおける認知的疲労が、視覚情報の知覚ではなく、視覚情報の処理ではなく、情報の高次処理において生じている可能性が考えられる。

N バック課題の誤答数(位置)は試合からの経過日数とも関連がみられた。サッカーの試合における身体的疲労は一般的に48~72時間続くと考えられており同様の認知的疲労として、視空間 WM が2日程度低下している可能性が示唆されており、興味深い。

練習内容の分析として、対人 TR の長さとも N バック課題の誤答数(位置)、およびフランカー課題の誤答数に正の相関がみられた。サッカーにおける認知的疲労の

多くは敵選手という複雑な動きを行う相手の存在によって生じることが考えられることから、本研究の結果は了解可能と考えられる。この結果は練習において選手にどれだけの認知的負荷をかけるかを、対人 TR の時間によって調整できる可能性を示している。サッカーにおける戦術的ピリオダイゼーションによるトレーニングプラン構築において重要な示唆と言えよう。

主観的評価と各課題成績との相関分析から、抑制機能が主観的疲労度や主観的覚醒度と関連があることが考えられた。視空間 WM に抑制機能と同様の主観的評価との関連がみられなかったことから、この2つの機能低下は、異なるメカニズムによって生じている可能性が大きい。抑制機能は主観的疲労度や主観的疲労度と関連することから、サッカーにおける身体的疲労とも強く関連する可能性が考えられる。本研究では身体的負荷のみを測定する指標、例えば GPS による走行距離などの客観的データを測定していなかったため、今後は、身体的負荷を測定する指標も追加することが必要と考えられる。

本研究は単一事例であるという制約のため、考察した内容の一般化が困難であり、また対象参加者の個人差を反映した結果で有る可能性も高い。今後はより多くの対象者を得てデータ収集・分析が必要であろう。本研究でのサッカーにおける認知的疲労の種類や時間変化、練習内容との関連の知見が複数人において確認されれば、戦術的ピリオダイゼーションによるサッカーのトレーニングプランの策定に対し新たな知見を提供できるものと期待される。

5. 文献

- [1] Boksem, M. S., and Tops, M., (2008) "Mental fatigue: Costs and benefits", *Brain Research Review*, Vol. 59, pp. 125-139.
- [2] Williams, A. M., and Reilly, T. (2010) "Talent identification and development in soccer", *Journal of Sports Sciences*, Vol. 18, pp. 657-667.
- [3] Afonso, J., Bessa, C., Nikolaidis, P. T., Teoldo, I., and Clemente, F. M. (2020) "A systematic review of research on Tactical Periodization: absence of empirical data, burden of proof, and benefit of doubt", *Human Movement*, Vol. 21, pp. 37-43.
- [4] 小林 秀紹・出村 慎一・郷司 文男・佐藤 進・野田 政弘 (2000), "青年用疲労自覚症状尺度の作成 日本公衛誌", Vol. 47, pp. 638-646.
- [5] Nakashima, R. (2019) "Spatial attentional distribution is modulated by head direction during eccentric gaze", *Journal of Cognitive Psychology*, Vol. 31, pp. 215-224
- [6] 原田 悦子・澤田 知恭・小笹 朋哉・井上 和哉・李 禱飛・朴 建映李 (2022) "有効視野課題における認知的制御と加齢変化：聴覚環境の影響と相互作用から", 日本心理学会第 86 大会発表論文集.
- [7] Verheijen, R. (2014) "The Original Guide to Football Periodisation Part1", World Football Academy BV.