

女子長距離選手の心拍変動評価

——夏期合宿前後の測定——

加 納 樹 里 里 見 潤
坂 本 剛 健

はじめに

過剰なトレーニングや連戦、重要な試合などアスリートを取り巻く環境は過酷なもので、一流選手といえども心身の過剰なストレスにより、自律神経系、特に疲労回復に重要な副交感神経系の働きが減弱することは、十分に想定される。トレーニング効果を支える栄養・休養・トレーニング負荷の3大要因のうち、栄養・休養に大きく関わる副交感神経が適切に機能しない状態では、パフォーマンスは向上するどころか、トレーニングを積み重ねるほど回復が困難となり、競技能力が低下する状況に陥ることもある。

心拍変動（HRV：Heart Rate Variability）解析は、従来は殆ど医療の場で使用されてきたが、非侵襲的に自律神経のバランスを評価しうることから、近年では各種の心身リラクゼーション法の効果認定や、いわゆるメタボリック症候群での身体活動低下に伴う自律神経系機能の評価法などとしても注目されている^{9), 10)}。社会的要請を反映して、近年ではかなり簡便で廉価な測定器も販売されるようになり、応用範囲の拡大が期待できる。

筆者らは、この心拍変動の観察により、アスリートに良好なコンディションの客観的な指標を提供しうるのではないかと考えて、従前より様々な場での測定や研究資料の収集を行ってきた^{5), 6), 13)}。

本資料では、その中で女子長距離陸上選手を対象とした測定値の一部を紹介し、研究の現状と測定分析結果を提示することを目的とした。

方 法

本学女子陸上競技部の長距離ランナー9名（平均年齢19.4歳，身長161.4cm，体重50.3kg，平均競技歴8.5年間）を対象に，早朝起床直後の心拍変動を，夏期合宿中を含めたトレーニング期間数回にわたり計測し，その変動を分析した。

測定に先立ち，測定にあたっての注意事項，測定方法と内容の説明，データの還元方法について対象者の理解と了解を得，本測定前に予備の測定（測定練習）を行った。今回提示するデータは，予備測定を除外した全8回分で，それぞれ，夏期合宿中に4回（TC：Training Camp1～4），合宿後のオフ明けの日（OFF），関東インカレ前のトレーニング期に2回（TR：Training 1～2），関東インカレ翌日（KAN）に測定したものである。測定は，Polar社製のウォッチ型心拍計S810iを用いて起床直後，仰臥位にて5分間実施し，メモリー保存されたデータを付属の解析ソフトにて取り込んだ後，必要な情報を抽出して分析の対象とした。測定値の分析には，先行研究にて使用されている時間領域，周波数領域の各指標を用い（表1），幾何学的な手法として散布図を用いた（図1，2）。

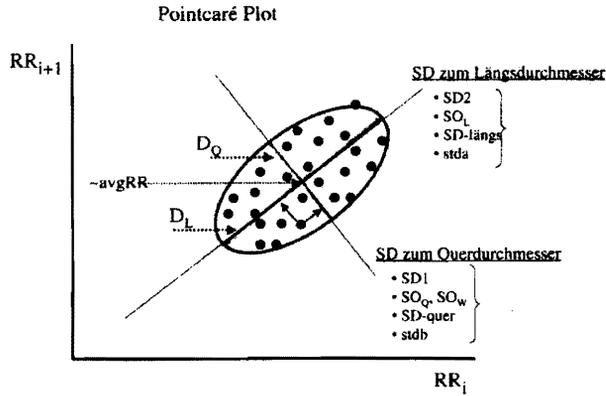
また，心拍変動が精神的状態の影響も受けうることを勘案して，坂入等^{11), 12)}の提唱する二次元気分尺度による簡単な気分測定を行い，睡眠，練習量についても主観的な評価を記録した（文末添付資料1）。

表1 測定対象としたHRV指標

区 分	名 称	定 義 等	単 位	解 説
時間領域	R-R	RR	ms	心拍と心拍の平均間隔（R-R間隔）
	R基準値 pNN50	% NN50	%	Polar社が提唱するリラックス基準値* 隣り合うRR間隔が50msec以上ある場合の全体 に対する比
散布図	SD2	標準偏差2		Pointcare散布図上での縦断的分布の標準偏差
	SDI	標準偏差1		Pointcare散布図上での横断的分布の標準偏差
周波数領域	TP	合計負荷	ms ²	全領域での総パワー
	VLF	0-0.04Hz	ms ²	超低周波領域でのパワー
	LF	0.04-0.15Hz	ms ²	低周波領域でのパワー
	HF	0.15Hz以上	ms ²	高周波領域でのパワー
	LF/HF		%	低周波/高周波パワーの比率

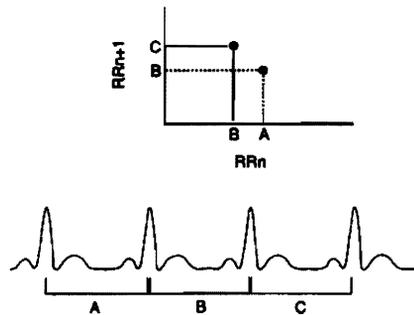
注）*算定基準が未公表なため、分析対象からは除外

図1 散布図上の指標



注) 隣り合うR-R間隔をXY平面上に順次表示したもの (上図参照)
 横断的分布の標準偏差がSD1, 縦断的分布の標準偏差がSD2
 出所) 文献4), 16ページより引用

図2 散布図の原理



出所) 文献3), 69ページより引用

結 果

時系列分析

今回測定に参加した全員が2007年9月30日開催の関東大学女子駅伝 (全日本大学女子駅伝予選会) をめざして練習を積み重ねてきた。当初予定した9名の内2名分のデータは、途中怪我による練習中断や、ウォッチ型心拍計の不調により十分な分析ができなかったために、今回測定結果から除外した。残りの7名について、合宿中 (TC)、その後のオフ明け当日 (OFF)、大学でのトレーニング期 (TR) と関東インカレ翌日 (KAN) に至る心拍変動各パラメータの

推移を、図3から図9に示した(一部欠損値あり)。図は、番号順に図3から図8迄が順次予選会(走行距離合計32.4Km)に出場した第1走者から第6走者のもので、最後の図9は、シンスプリントのために合宿中を含む測定期間前半には十分な走り込みができなかった選手の一例である。

時系列でみると殆どのパラメータの絶対値が低値で推移し、しかも予選会にむけて低下傾向がみられた第2走者(図4)と、数値的には好ましい値を維持して予選会を迎えた第5走者(図7)の変動様相などが対照的で興味深い。筆者らは長期合宿中のボート選手について、散布図上での横断的分布の標準偏差(SD1)と練習量との間に一定の関連を見いだしているが¹³⁾、今回の測定では、対象選手全員がそれぞれ異なる変動パターンを示した。また、予選会の好調・不調を客観的に判断しうる資料が存在しないために、今回の変動パターンがパフォーマンスと連動しているか否かを十分検証するには至らなかった。

二次元気分尺度の調査結果では、合宿中に(TC2~4)活気度が低下し、イライラ度がやや高くなり、快適度が低下する傾向がみられたが、総じて気分尺度の変動幅は予想したよりは小

表2 二次元気分尺度調査結果

氏名	8.21 TC2						8.22 TC3						8.23 TC4					
	P	N	H	A	T	S	P	N	H	A	T	S	P	N	H	A	T	S
Y	2	0	1	1	3	3	-2	1	-0.5	0.5	2	3	0	2	-1	1	2	3
N	-4	2	-3	-1	3	3	0	1	-0.5	0.5	2	3	-3	1	-2	-1	2	4
SI	1	1	0	1	3	2	-1	0	-0.5	-0.5	2	2	-1	1	-1	0	3	3
M	0	1	-0.5	0.5	3	4	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	2	5
ST	-3	0	-1.5	-1.5	3	4	0	0	0	0	2	4	-1	1	-1	0	2	4
N	-1	2	-1.5	0.5	3	4	0	1	-0.5	0.5	3	3	-1	1	-1	0	3	4
I	-1	2	-1.5	0.5	3	4	0	0	0	0	4	3	-1	2	-1.5	0.5	2	3
平均	-0.9	1.1	-1.0	0.1	3.0	3.4	-0.4	0.4	-0.3	0.1	2.4	2.9	-1.0	1.1	-1.1	0.1	2.3	3.7

氏名	8.28 OFF						9.8 TE1						9.29 TR2						10.1 KAN					
	P	N	H	A	T	S	P	N	H	A	T	S	P	N	H	A	T	S	P	N	H	A	T	S
Y	-4	3	-3.5	-0.5	5	3	0	0	0	0	5	4	-1	-1	0	-1	5	3	0	0	0	0	/	/
N	5	-4	4.5	0.5	4	4	-1	-1	0	-1	5	4	-1	-1	0	-1	4	3	-1	0	-0.5	-0.5	2	2
SI	2	-1	1.5	0.5	5	3	2	0	1	1	5	3	1	0	0.5	0.5	5	3	0	0	0	0	/	3
M	0	0	0	0	5	4	0	2	-1	1	4	4	-2	0	-1	-1	4	3	0	0	0	0	2	4
ST	0	0	0	0	5	3	-1	0	-0.5	-0.5	4	3	1	2	-0.5	1.5	4	3	0	0	0	0	3	4
N	0	0	0	0	3	3	-2	0	-1	-1	5	4	-1	0	-0.5	-0.5	5	/	0	0	0	0	/	4
I	1	0	0.5	0.5	5	4	2	0	1	1	5	3	5	0	2.5	2.5	5	3	0	-1	0.5	-0.5	3	3
平均	0.6	-0.3	0.4	0.1	4.6	3.4	0.0	0.1	-0.5	0.1	4.7	3.6	0.3	0.0	0.1	0.1	4.6	3.0	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	2.5	3.3

(別表参照)

高値 ← → 低値
 P:活気 無気力
 N:イライラ 落ち着き
 H:快適 不快
 A:興奮 沈静
 T:練習量少 練習量多
 S:睡眠不足 睡眠十分

さく、生理的な指標との関連も明確ではなかった (表2)。

散布図分析

図10, 11は、第5走者 (Y選手) の合宿3日目 (TC3) とトレーニング期間中 (TR1) の散布図である。トレーニング期間中とはいえ (TR1) の前日は、全員の主観的評価でトレーニング量が少なく、同選手は予選会にむけて比較的余裕のある状況でトレーニングを積んでいたと推察される。同選手の図11の散布図を、第2走者 (N選手) の同時点で得られた散布図と比較してみると (図12)、後者において“ばらつき”が総じて少なく、SD1値の低下が認められる。散布図からは、同選手が何らかの理由により調子を落としていたのではないかと推察され、その傾向は同日9月8日の主観的気分尺度でもP, N, Aが低い傾向として示されている (表2)。

また、図13, 14は、第6走者 (M選手) のオフ明け直後 (OFF) と予選会終了翌日 (KAN) の散布図である。同走者は大会時に8.1Kmを走行したのみであるが、大会明けの心拍変動には、重要な大会後の心理的ストレスが反映されたとも考えられる。

横断的分析

全期間を通しての各選手の測定値平均を表3に示した。

先行研究にて既述の通り、心拍変動の各パラメータは個人差が大きく、得られたデータを単純に比較することは適切ではない。が、今回の測定対象者が、大学レベルでは高い持久性を有する長距離選手であったことから、各人の平均値で比較してみても、平均心拍数の低値 (R-R間隔の高値)、pNN50値の高値など、持久的運動選手特有の安静時副交感神経の亢進結果と考

表3 全選手の測定期間中の平均値

氏名	1走(SI)	2走(N)	3走(ST)	4走(I)	5走(Y)	6走(M)	(N)	(F)
心拍数 (bpm)	43.4	57.0	45.4	50.8	51.7	46.8	54.2	49.3
R基準値 (X)	80.9	35.9	55.8	78.0	68.8	61.8	56.3	77.3
R-R平均 (ms)	1400.0	1053.0	1323.4	1194.8	1167.0	1290.5	1156.3	1097.0
標準偏差1 (SD1)	95.5	35.7	59.2	81.8	79.8	68.5	71.3	73.7
標準偏差2 (SD2)	110.5	65.7	97.8	133.7	145.2	111.5	134.0	138.3
pNN50 (%)	32.6	10.4	31.2	26.5	27.3	27.8	26.5	23.3
合計負荷	73496.9	20135.9	51763.4	86193.0	98358.5	79708.8	117977.0	97019.7
超低周波 (0.00-0.04Hz)	65898.5	18121.9	48382.4	77469.0	89960.0	75395.0	111071.0	90045.3
低周波 (0.04-0.15Hz)	2075.4	931.1	960.6	3390.7	3108.2	1803.3	2688.0	2906.7
高周波 (0.15-0.40Hz)	5509.3	1075.7	2421.0	5333.0	5290.5	2510.8	4218.0	4067.7
低周波/高周波	0.4	0.8	0.4	0.8	0.6	0.6	0.6	1.3
コメント						有効データ4日		有効データ3日

えられる特徴がみられた。また、周波数領域のデータについては、同じウォッチ型心拍計による非運動群の数値と比較すると、合計負荷値の高値、超低周波成分の増大などが特徴的であった。しかし、今回ウォッチ型心拍計で得られた値の内、特に周波数領域の測定結果については、先行研究に示された従来機種による医学分野での測定値と比較することの妥当性について、さらに検証が必要な段階にある^{4),8)}。

考 察

早野²⁾は「生命活動の基本は、活動とそれによる疲労、そして休息による回復というサイクルの定常性にあり、もとの状態に回復できる心理的身体的負担は、たとえ過酷なものであっても、その回復までを含めたサイクルの時間的スパンでみる限りストレスとはならない」と述べている。この文章はスポーツトレーニングにもそのままあてはまることであり、長期的なトレーニング効果の評価は、目前の競技成績や直後の疲労感だけではなく、休息による回復と超回復等を考慮したプロセスの中でとらえられるべきものである。理論としては、良く知られたトレーニングの原則であるが、実際に日々トレーニングをしていくなかで、自分自身のコンディションを客観的に評価することは難しく、ともすればひたすらトレーニングを積み重ねることにより、不安を払拭しようとしがちである。

今回の測定結果では、残念ながら全日本出場をかけた予選突破が実現しなかったという事実と、余り調子よくはなかったという選手達のコメントを裏付ける傾向が多くくの選手で観察された。

かねてより安静起床時の心拍数測定から練習量を調整し、体調管理の参考とする事は広く実施されてきているので、心拍変動は心拍数以上の敏感な指標としての可能性が期待される。

散布図の活用については、先行研究でもその利便性について言及してきたが⁶⁾、測定者自身が測定後にPC上で表示してみることができるので、現場レベルでは最も簡便な体調管理の一つの目安としての活用が期待される。

測定の技術的な側面では、今回特に合宿中の早朝起床時（布団の中でそのまま測定する）という条件から、近くの他者の心拍を拾ってしまったと思われる測定結果や、事前の研修にもかかわらず誤操作による欠落値を出してしまった。データの混線については、メーカーレベルでの改良がなされ、対象者も測定に慣れて来たことから、測定ミスについては今後改善できるものと思われる。また、ウォッチ型心拍計による測定値の妥当性については、測定方法も含めた検討が諸外国で活発に行われており^{1),7)}、今回の実験方法に大きな問題点はなかったと思われる。しかし、心拍数同様、心拍変動も時々刻々変化してしかるべき値であるだけに、安静・仰臥位

等の測定状態, 体位などを徹底して毎回の測定に臨む必要がある。

今回, 同一個人に対する測定を反復して実施した結果, トレーニング量を客観的に把握し, 競技成績と心拍変動などの生理的数値との関連について追証していく事で, 今後も興味ある知見が得られるものと考えられた。心拍変動の各パラメータは, 必ずしも直近のトレーニング量や心理的負荷を反映するとは考えられないので, 長期間の変動を評価するにふさわしい気分尺度 (心理尺度) の導入や, 生理的パラメータを増やす必要性もあわせて検討していきたい。

縦断的な変動傾向を把握することは, 筆者らの研究の最終目的である同一個人の長期変動傾向から, コンディションの指標となるものを探り出す上で最も重要であり, そのためには対象者自身が測定値を活用しうる土台を提供していくことも重要であると思われる。

ま と め

心拍変動解析のパラメータである pNN50, 散布図上の分布の標準偏差である SD1, SD2 を組み合わせて観察することにより, 日々厳しいトレーニングを実施している長距離ランナーの自律神経バランスを評価し, 彼等のコンディショニングを評価しうる可能性が示唆された。また, 測定値を XY 軸上にプロットして離散状況を一目に把握しうる散布図は, 今回使用したウォッチ型心拍計に付随するソフトにて PC 上に表示する事ができるので, 現場レベルの利用・普及も期待される。

生理指標としての心拍変動活用は, 非侵襲的でトレーニング等の妨げにもならない事が最大のメリットではあるが, その有用性を実証するためには, さらに 1) 縦断的なデータ数を増やし, 2) 変動性に富む解析パラメータの中から最も目的に適した指標を検出し, 3) 主観的評価, その他の生理学的指標との関連性を統計学的にも検証していくことが必要である。

参 考 文 献

- 1) Gamelin F.X., Berthoin S., Bosquet L. (2006) Validity of the Polar S810 Heart Rate Monitor to Measure R-R Intervals at Rest, *Med Sci Sports Exerc.*, 38 : 887-893.
- 2) 早野純一郎 (2008), 心拍のゆらぎによるやすらぎ度の評価, 疲労と休養の科学, Vol.20, No. 1 : 3-11.
- 3) 林 博史 (1999), 心拍変動の臨床応用—生理学的意義, 病体評価, 予後予測—, 医学書院, 東京, p. 69.
- 4) Hottenrott Kuno (2002) Grundlagen zur Herzfrequenzvariabilität und Anwendungsmöglichkeiten im Sport, *Schriften der Deutschen Vereinigung fuer Sportwissenschaft Band129*, CzwalinaVerlag, Hamburg, pp. 9-26.

- 5) 加納樹里, 佐藤真治, 牧田茂 (2004), スポーツの場における心拍変動の活用—ドイツを中心としたヨーロッパの研究動向について—, トレーニング科学, Vol.16, No.2 : 165-178.
- 6) 加納樹里 (2007), 運動習慣が男子大学生の夜間心拍変動に及ぼす影響について—ローレンツプロットを用いた分析—, 中央大学保健体育研究所紀要, 25 : 1-11.
- 7) Loellgen D.,Jung K.,Mueck-Weymann M. (2004) Herzratenvariabilitaet (HRV) im Sport-Methodische Ueberlegungen Zur vergleichenden Messung mittels Polar S810 und Standardmethoden der Medizin, Schriften der Deutschen Vereinigung fuer Sportwissenschaft Band142, CzwalinaVerlag, Hamburg, pp. 121-135.
- 8) Mahlke C.,Rauh R.,Bauer R., Mueck-Weymann M. (2002) Validierung des Polar Advantage fuer die standardisierte Bestimmung der Herzratenvariabilitaet, Schriften der Deutschen Vereinigung fuer Sportwissenschaft Band129, CzwalinaVerlag,Hamburg, pp. 177-187.
- 9) 永井成美 (2007), 運動と自律神経活動の可逆性, 第20回日本トレーニング科学会大会シンポジウム (1) 抄録.
- 10) 西村正広, 小野寺昇 (2003), 塩水を用いた水中リラクゼーションが心臓自律神経系活動に及ぼす影響, 川崎医療福祉学会誌, Vol.13, No. 1 : 79-84.
- 11) 坂入洋右, 征矢英昭 (2003), 新しい感性指標～運動時の気分測定～, 体育の科学, Vol.53 No. 11 : 845-850.
- 12) 坂入洋右, 徳田英次, 川原正人, 谷木龍男, 征矢英昭 (2003), 心理的覚醒度・快適度を測定する二次元気分尺度の開発, 筑波大学体育科学系紀要, Vol.26 : 27-36.
- 13) 坂本剛健, 牧田茂, 加納樹里, 里見潤 (2007), ボート競技日本代表選手の海外合宿期間中の心拍変動の推移, 第19回日本トレーニング科学会大会ポスター発表資料.

図3 第1走者(SI選手)

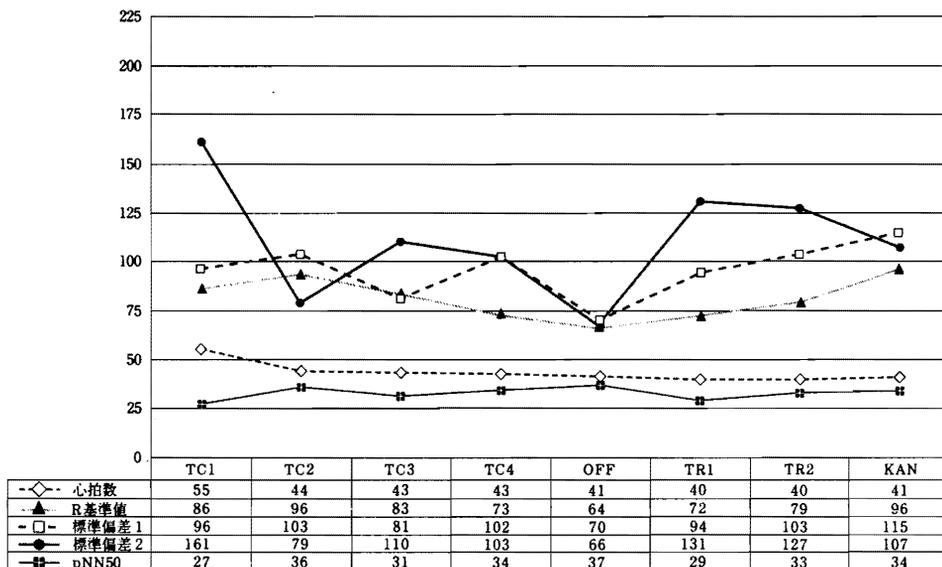


図4 第2走者(N選手)

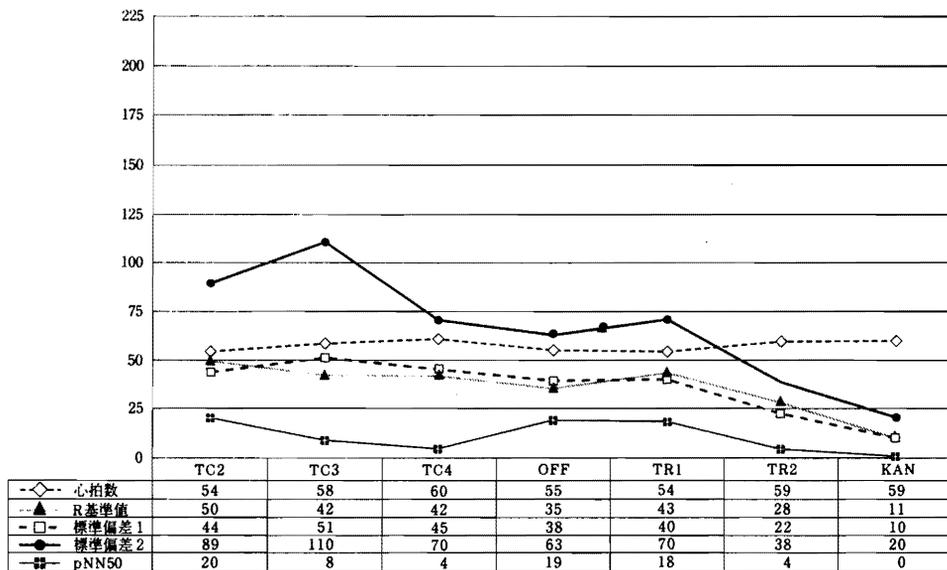


図5 第3走者(ST選手)

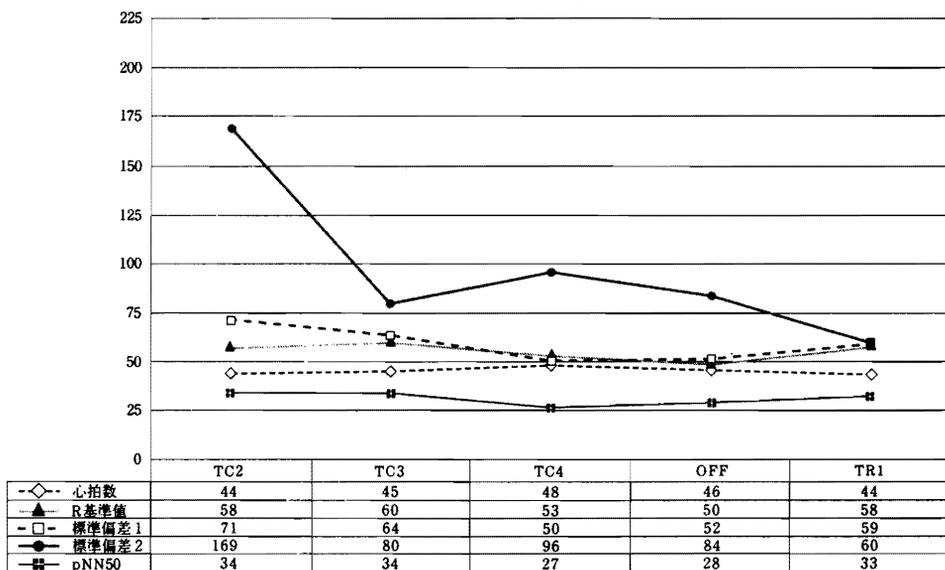


図6 第4走者(1選手)

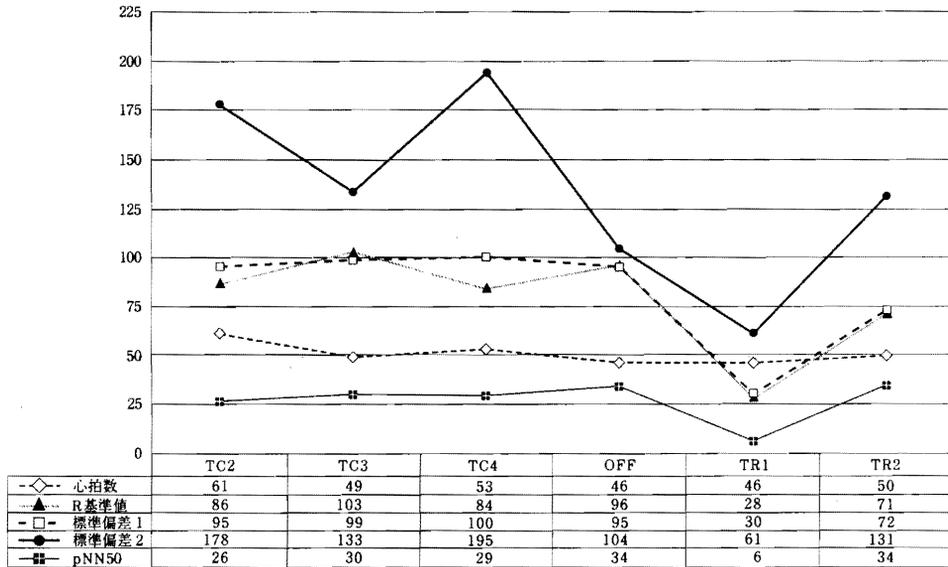


図7 第5走者(Y選手)

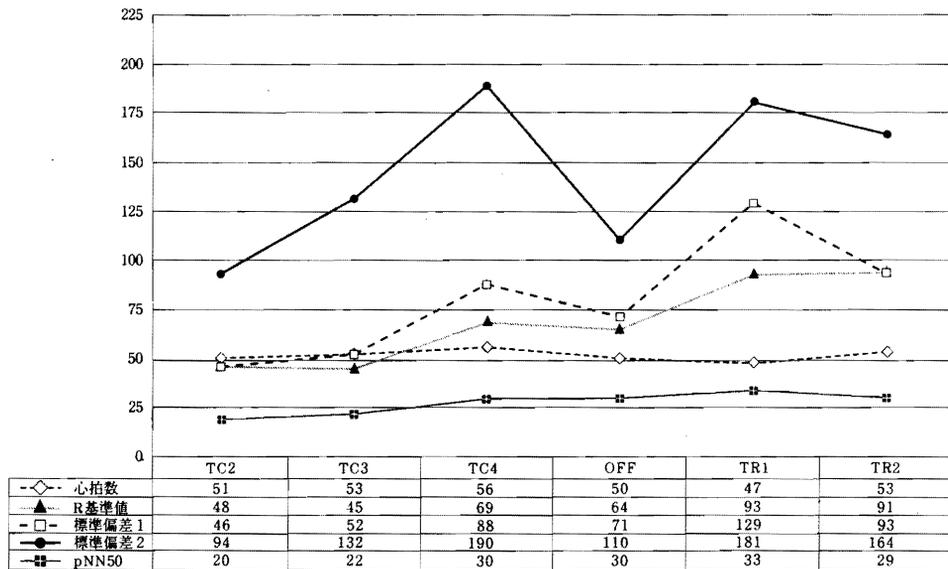


図8 第6走者(M選手)

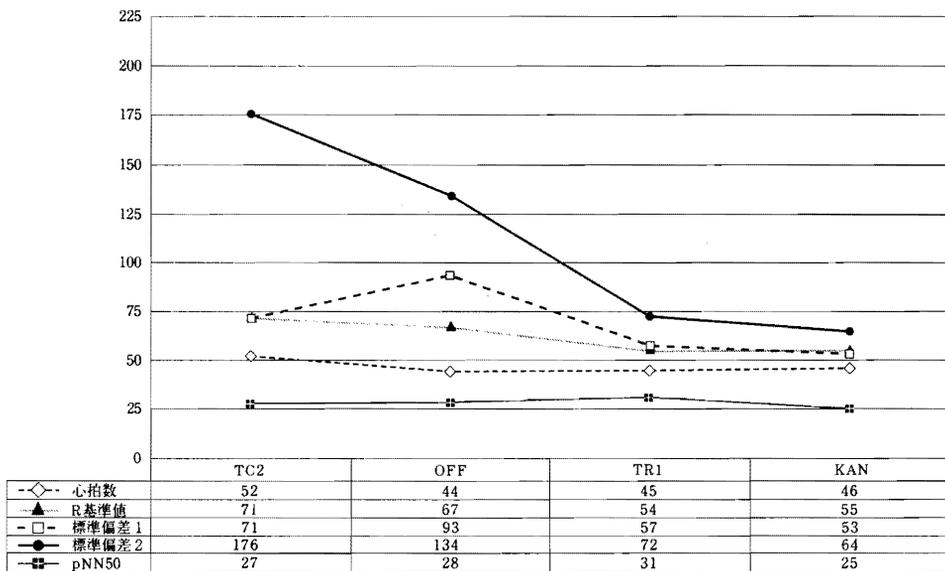


図9 シンスプリント(N選手)

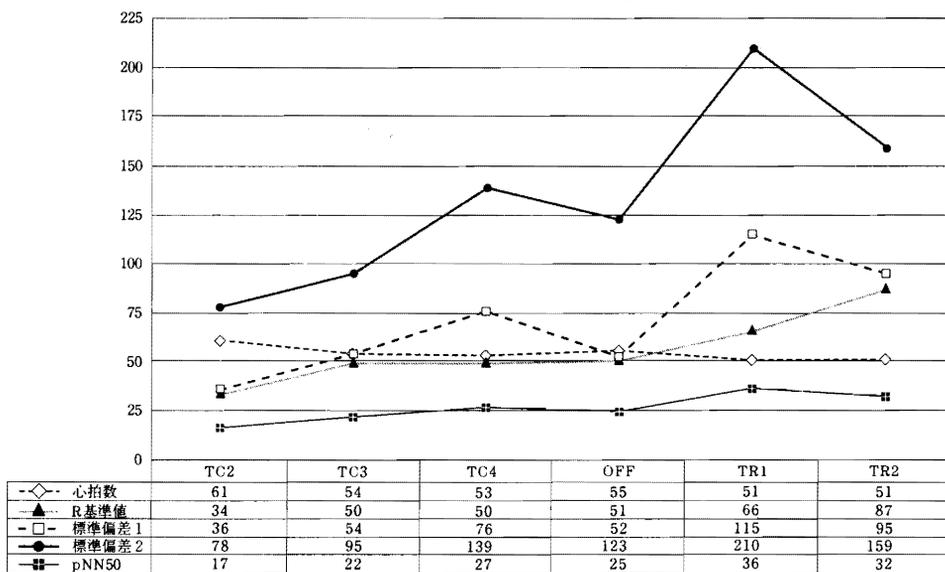


図10 第5走者 (Y選手) 散布図

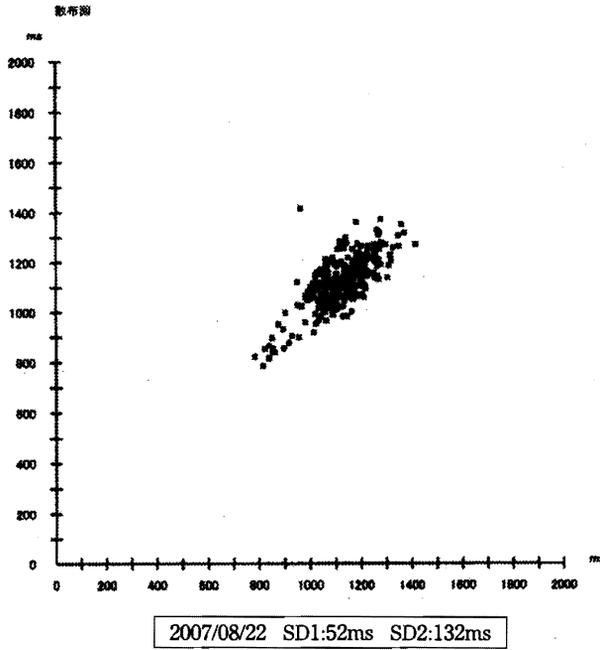


図11 第5走者 (Y選手) 散布図

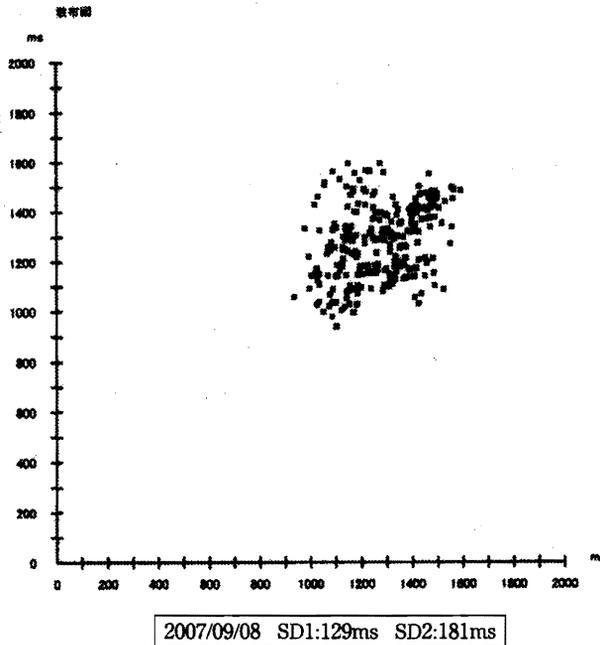


図12 第2走者 (N選手) 散布図

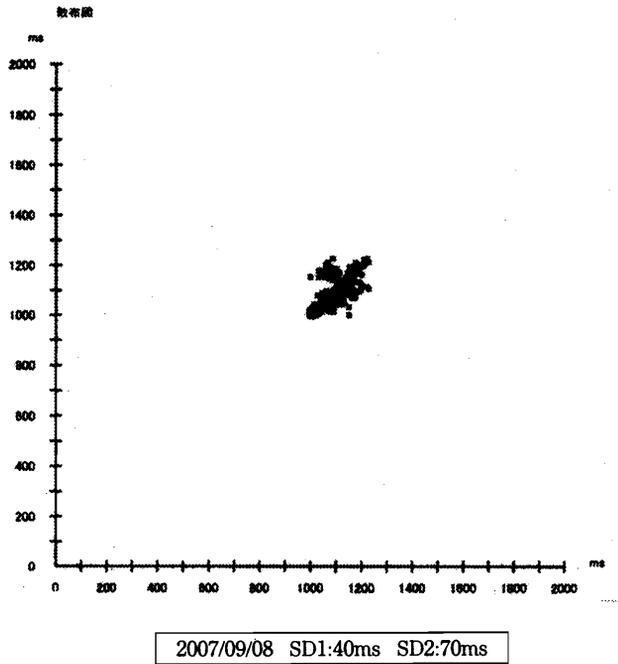


図13 第6走者 (M選手) 散布図

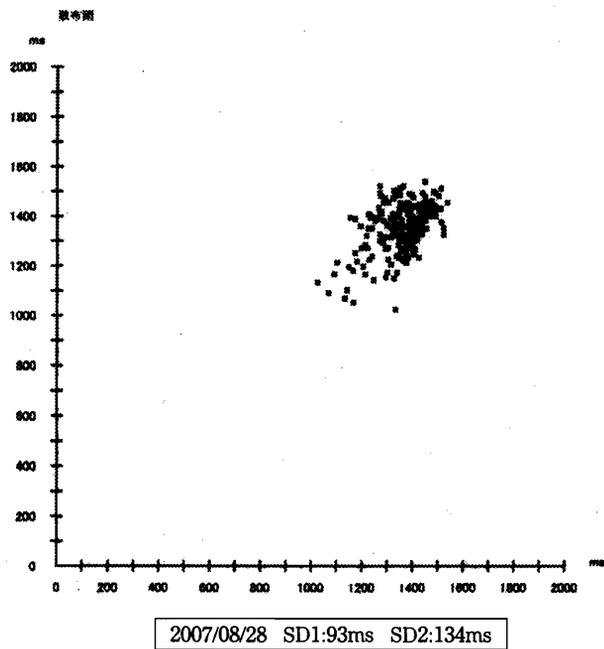


図14 第5走者 (Y選手) 散布図

