

<論 文>

[スポーツ医学研究班]

# 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——

加 納 樹 里 佐 藤 清 貴  
阿 部 記 子 里 見 潤  
坂 本 剛 健

## Abstract

**Purpose:** This study was designed to compare autonomic nervous system activity in healthy young men with different exercise habits. In order to obtain reliable indices for practical use, we also tested the consistency of the new methods employing Lorez-plots.

**Method:** Nocturnal heart rate variability (HRV) was measured in healthy young students with and without a habit of physical training. All of them were free from any known diseases, nonsmokers, and were taking no drugs. Daily activities were recorded with a questionnaire, and they were also instructed to refrain from severe exercises on the day of measurement. The data were analyzed by Mem-Calc (GMS), and the cardiac vagal function index ( $CVI: \text{Log}_{10}(L \times T)$ ), the sympathetic index ( $CSI: L/T$ ) were calculated according to the method of Toichi et al.

**Results and Discussion:** CVI and CSI were found to be closely related with the frequency indices of spectral analysis, such as HF (High-frequency power) reflecting parasympathetic activity, and the ratio of LF/HF, indicating sympathetic functions. Although habitual exercises were expected to improve the cardiac vagal activities, the effects of training on HRV could not be clearly found out in this study. This may be partly due to the homogeneity of our subjects and the lack of previous training control in Trained-Group. Lorez-plots and indices used in this study might be an accessible tool for evaluating the sympathovagal balance continuously during sleep.

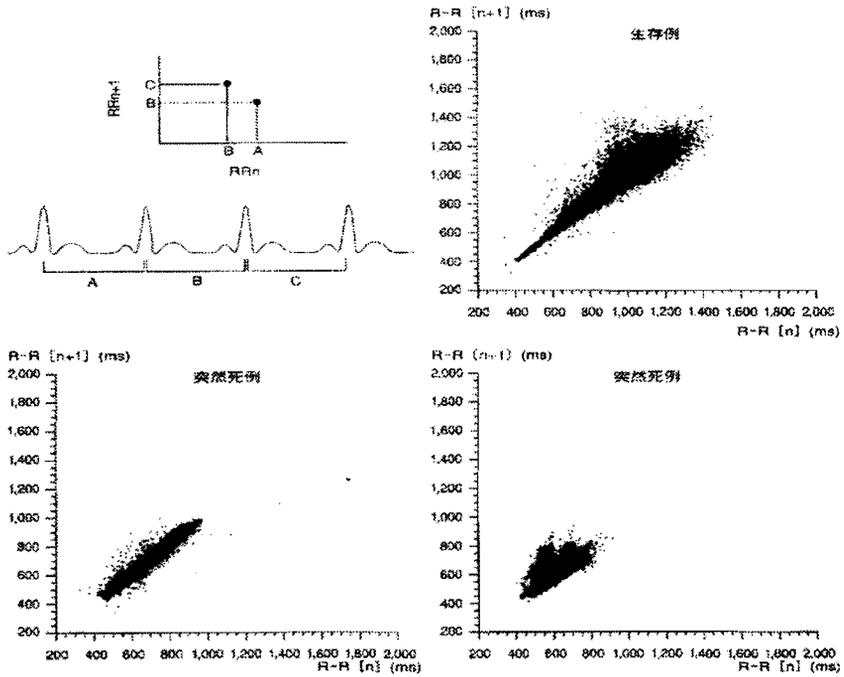
## はじめに

心拍変動 (HRV : Heart Rate Variability) は、解析技法と機器の発展により、1990年代以降臨床医学の領域で心臓疾患の予後診断などに活発に用いられるようになった。心拍変動の解析は、自律神経のバランス、特に副交感神経の評価に優れた指標であることから、近年では、健常者のストレス環境下や運動選手のオーバートレーニング状況の評価にも応用の可能性が示唆されている<sup>6), 10), 11)</sup>。

心拍の変動、即ちR-R間隔の変動から自律神経を評価するプロセスは、規則正しく調律を刻んでいることが正常と思われる心拍の間隔が、拍動周期を調整している自律神経活動により、実は毎回微妙に揺らいでおり、その生理的揺らぎを周波数解析することにより、可逆的に伝達速度の異なる各自律神経の作用動態を探ろうとするものである。一般的には病後や高齢者において心拍変動性が低下し、スポーツ選手や若年層では変動性が高いとされており、定期的な運動習慣、特に持久系のトレーニングは、安静時の徐脈、迷走神経優位といったストレスに拮抗する作用があることが報告されている (図1/図2)。従って疾病例でみられる程極端ではないにせよ、健常者においても心拍変動が個人の生活習慣や心身の状況と連動している可能性が十分予想される。

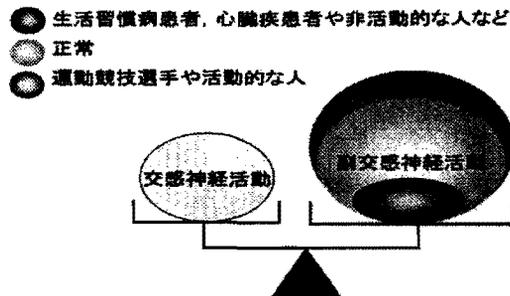
筆者等は心拍変動 (HRV) を用いたアスリートのコンディション把握の観点から、現場レベルで有用性の高い指標を得ることを目的とした測定・解析の研究を進めている<sup>5)</sup>。しかし、心拍変動が従来数多く適応されてきた循環器疾患患者を対象とした場合と異なり、健常者を対象としての心拍変動24時間モニターは、被験者の日常生活を制約しかねない上、日常の身体活動そのものの影響を著しく受けてしまう。そこで本研究では、定期的な運動習慣が若年男子健常者 (大学生) の自律神経機能に及ぼす影響を、身体活動の影響の少ない「夜間睡眠中の心拍変動」に着目して検討することとした。

特に今回は、フィードバックの観点から、目視にてわかり易いR-R間隔の相図である Lorenz-plot (散布図: ローレンツプロット) を中心とした分析結果について報告する<sup>2), 9)</sup>。



注) 左上: プロットの原理=連続する心拍のR-R間隔をXY平面上に表示する。  
 他3例: 各々心不全患者におけるプロット図で, 生存例では長軸方向にも短軸方向にもばらつきが大きいことが示されている。面積の広さ, 特に横方向の分布幅が副交感神経活動を反映するとされる。(出典: 林等文献3より一部改)

図1 Lorenz-plotsの例示



(出典: 永田等文献8: MemCalc法による運動生体信号のスペクトル分析より)

図2 安静時の自律神経活動バランス

## 1. 方 法

測定1：健常な若年男子大学生を対象に、GMS社製のActivetracer (AC-301：図3参照)にて心拍数を記録し、同社の解析システム (MemCalc/CHIRAM)により夜間・睡眠時の心拍変動を分析し、比較した。被験者は、A群 (n=15)：定期的なトレーニングを実施している男子運動部所属の学生 (平均年齢20.9歳, 身長176cm, 体重68kg) と、N群 (n=15)：運動部等に所属していない一般男子大学生 (平均年齢20.0歳, 身長170cm, 体重64kg)であった。なお、A群はいずれも週3回以上、1回当たり最低15時間のトレーニングを日常的に実施しているスポーツ選手であり、競技種目の内訳は陸上競技部10名 (長・中距離種目4名, 短距離種目3名, フィールド種目3名), 準硬式野球部3名, バスケットボール部1名, サッカー部1名であった。本研究での分析対象は夜間・睡眠時の心拍変動のみとしたが、実験協力者にはその日1日の行動を評価・記録してもらい (参考資料1), 測定日当日については、非日常的な身体活動や、トレーニングを避けるように指示した。

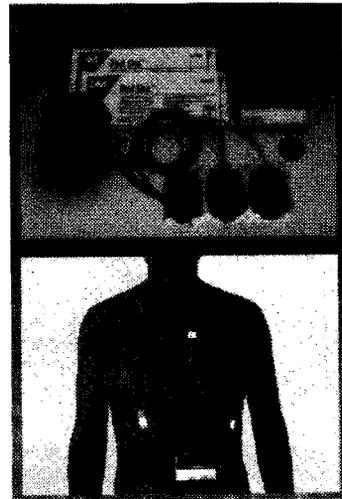


図3 AC-301装着図 (写真：GMS)

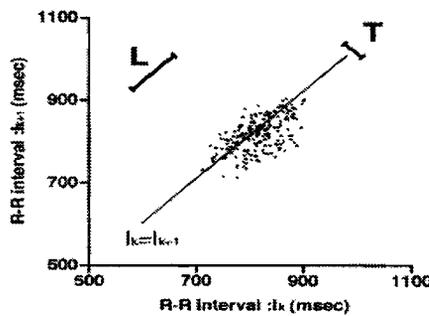
測定2：測定1の被験者群で得られたデータと比較する目的で、運動習慣を有する中高年健常者をE群 (n=5)として、24時間の心拍変動を記録した。同データの内、夜間・睡眠時の心拍変動のみを今回比較対象として分析し、一部の被験者については繰返しの測定を実施して、日々の変動について観察した。

なお、被験者はすべて健康診断にて異常がなく、薬品使用のない非喫煙者であった。測定的主旨は事前に十分説明して協力を得、希望により測定後のデータフィードバックを実施した。

両測定において、数値データは、先行研究で使用されている時間領域、周波数領域の各指標と (表1), 散布図 (ローレンツプロット) 上でToichi等が<sup>13)</sup> 各々副交感神経係数 (CVI:  $\text{Log}_{10}(L \times T)$ ), 交感神経係数 CSI (CSI:  $L/T$ ) として検証した指標 (図4参照) を用いて分析した。

表1 心拍変動解析の主な指標

区分	名称	別名・範囲等	単位	解説
時間領域	NN	RR	ms	心拍と心拍の間隔 (R-R間隔)
	SDNN	RRSD/SD	ms	R-R間隔の標準偏差
	r-MSSD	RMSSD/	ms	隣り合うR-R間隔の差の二乗の和の平均値の平方根
	pNN50	%NN50	%	隣り合うR-R間隔が50msec以上ある場合の全体に対する比
(幾何学的分析)	散布図	ポアンカアレット		Lorenz-plotsなどの非線形手法
周波数領域	TP		ms <sup>2</sup>	全領域での総パワー
	VLF	0.003-0.04Hz	ms <sup>2</sup>	超低周波領域でのパワー
	LF	0.04-0.15Hz	ms <sup>2</sup>	低周波領域でのパワー
	HF	0.15Hz以上	ms <sup>2</sup>	高周波領域でのパワー
	LF/HF		%	低周波・高周波領域でのパワーの比



注) ローレンツプロット上の楕円分散の長軸, 短軸方向分布の内, 中心から90%の振幅を各々Length値(L)及びWidth値(T)とし, 交感神経活動の指標であるCSI (CSI:L/T)と副交感神経の指標であるCVI:  $\text{Log}_{10}(L \times T)$ を算出した。(文献13より)

図4 プロット上の指数の計算方法

## 2. 結果と考察

心拍変動の解析では, 先行研究でも様々な指標が使用・提唱されているが, 本研究で算出したCVI及びCSIは, 各々周波数領域の該当指数とされるHF値(高周波成分で, 迷走神経活動を反映)や交感神経活動指標のLF/HF比(高周波成分に対する低周波成分の比率)と高い相関を示した。即ち, HFとCVI間ではA群で $p < 0.05$ , N群で $p < 0.01$ 。LF/HF比とCSI間ではA群で $p < 0.01$ , N群で $p < 0.05$ レベルの有意な相関がみられた(表2)。このことから, CVI及び

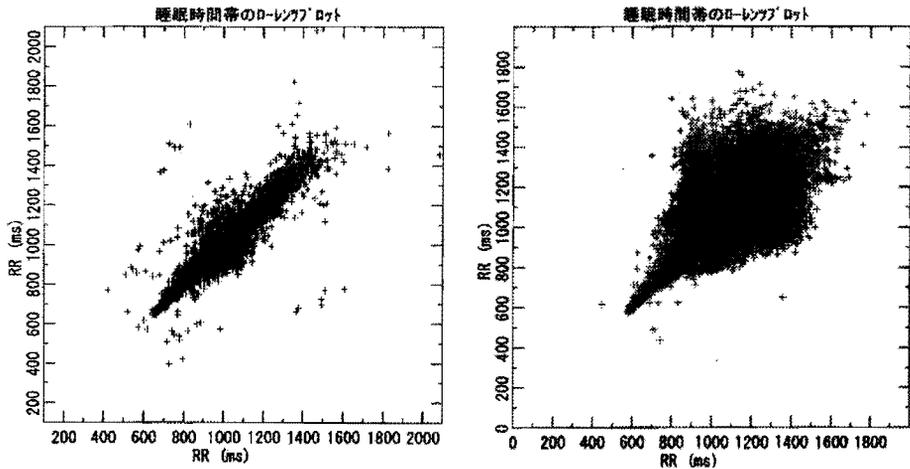
表2 各群の測定平均値一覧

INDEX	A-Mean	SD	N-Mean	SD	E-Mean	SD
HR (／m)	52.3	6.2	58.4	10.5	54.0	7.2
NN (ms)	1165	14.2	1056	163	1127	120.1
SDNN	150	32	165	54	97	20.9
r-MSSD	85	37	75	36	38	8.0
pNN50 %	41	19	42	21	16	8.1
ULF	5200	2453	7626	5713	4439	4134.4
VLF	7451	3111	6781	2994	2086	620.5
LF	1517	829	1343	484	323	96.6
HF	1435	1137	1334	1086	235	72.7
TF	15654	6348	17124	8632	7096	4318.2
LF/HF	1.7	1.4	1.8	1.6	1.4	0.4
CSI	4.0	2.6	4.9	1.9	4.4	1.4
90%Length	725.5	152.5	742.8	175.4	445.0	155.8
90%Width	259.0	166.5	174.7	87.8	119.2	93.7
CVI	5.2	0.4	5.1	0.2	4.6	0.4

A: Exercise group, N: Non exercise group, E: Middle age group

CSIとローレンツプロットにより、心拍変動の概要を十分に把握できることが確認された。以前より、定期的なトレーニングにより心臓迷走神経の亢進が生じることが知られているが、本研究では、散布図の横軸方向への分布を示す90% Widthの平均値の差などに若干その傾向がみられた。しかし両群間の数値比較においては、いずれの項目においても有意な差は検出されず、夜間の心拍変動に及ぼす日常身体活動量の影響は明らかではなかった。その理由としては、今回の対象者が、両群の安静時心拍数やBMI (Body Mass Index) = 22にみられるように、共に健常で若い均質的集団であったことが第一にあげられよう。また、心拍変動の各数値は、本来非常に変動性に富む指標であることから、A群における測定日前の身体活動の影響を十分にぬぐい去ることができず、単回の測定では、その影響が偶発的に反映された可能性も払拭できない。

今後、単回ではなく、縦断的・継続的な測定を実施することにより、この点を明らかにする必要があると思われる。一方、E群とA/N群との比較においては、いずれのパラメータをみても加齢に伴う心拍変動幅の減少は顕著であり、日常生活の影響を受ける日々の変動を考慮したとしても、加齢が心臓迷走神経活動レベルの低下や洞結節の反応性に大きく影響することが確

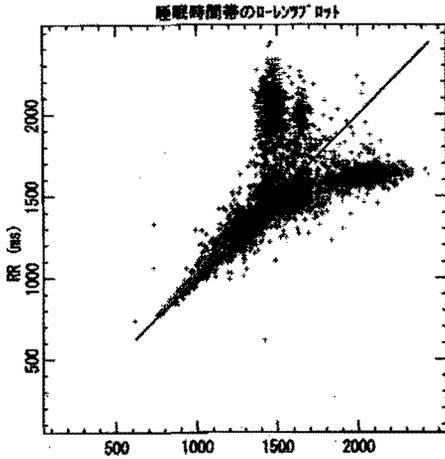


左図：長距離選手 (HF=120ms<sup>2</sup> LH=4.7 CSI=11.0 CVI=4.5)  
 右図：跳躍選手 (HF=2380ms<sup>2</sup> LH=1.2 CSI=2.3 CVI=5.4)

図5 アスリートにみられた夜間プロット図

認された。

早野<sup>4)</sup>はその著書の中で、心拍変動解析による自律神経機能の評価原理を、走行中の車の速度変化からドライバーのアクセル、ブレーキ操作を推定することにとえている。即ち、アクセル操作はブレーキ操作程には敏感には反応せず、同じことが心拍調節に関わる交感神経活動と迷走神経活動の伝達特性にもあてはまる。受容体情報伝達機構の差異により、交感神経は0.15Hz以上の速い変動に対応し得ないので、速さ(周波数)によって変化をとらえることにより、迷走神経活動機能を純粹に抽出することができると述べている。心拍数の変化ではとらえられない情報が、心拍変動には含まれる所以である。この点を踏まえて、特に運動群(A群)において、記録された活動記録表や運動実施種目等との関連を一人一人の被験者について検討した結果、興味あるケースがいくつか認められた。例えば、(図5)はほぼ同じ安静時心拍数を記録した同じ陸上競技部に所属する跳躍選手と、長距離選手のプロット図である。測定前後の聞き取り調査から、前者は好調を維持し、後者は顕著な不調を訴えていたが、心拍数だけでは把握できない身体状況の差異が、心拍変動には如実に現れていた。即ち、後者にみられるCSIの高値とCVIの低値は、当日の睡眠状態そのものを反映すると同時に、それに先立つトレーニングのストレスを反映し、安静睡眠時においても交感神経活動が亢進した状況が継続したものと考えられ、興味深い<sup>11)</sup>。さらに、本研究の長距離走者については、独特のプロットを示



(安静時HR=42 CSI=1.3 CVI=5.6)

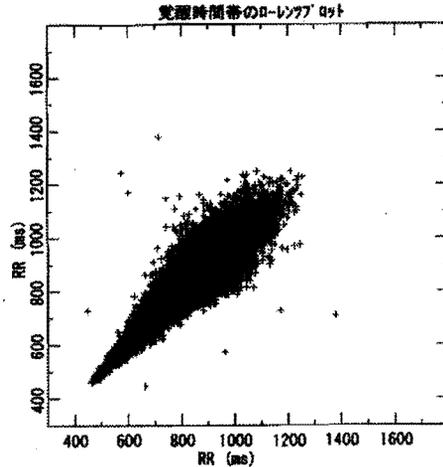
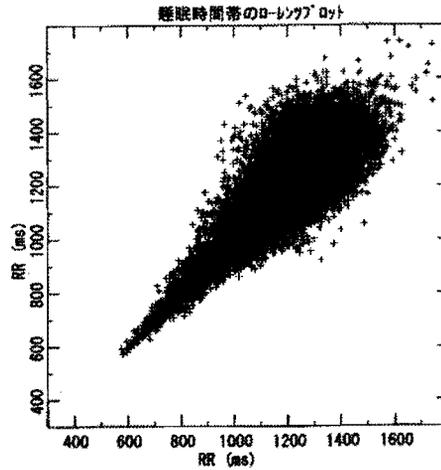
図6 長距離選手の夜間プロット図

すことが確認され、今後いろいろな観点から検証の必要性があると思われた(図6例)。

柴田等は<sup>13)</sup>、男子児童を対象に、起床時の体温、日中の身体活動量及び心臓自律神経活動を調査し、体温のサーカディアンリズムが乱れた起床体温の低い児童にあっては、日常身体活動量と副交感神経活動が、対象群に比して共に低値であることを報告している。また、主観的なストレスと副交感神経活動指標の間にも有意な負の相関が認められるとしている。

また、水野等は<sup>7)</sup>、中高年を対象とした研究の中で、運動が高照度光暴露や社会的接触、食事摂取と同じようにサーカディアンリズムの維持、強化に貢献し、運動介入実験により、睡眠の質が向上すること(除波睡眠の増大、中途覚醒の減少など)を指摘している。本研究のデータ収集の過程でも、深酒(本人の申告による)や夜間のアルバイトにより、本来あるべき自律神経のバランスが乱れたり(図7)、昼夜が逆転したような現象を発見することもあった。

近年、先進各国では共通に身体活動量が減少し、メンタルなストレスや心身症で悩む者が青



上図：睡眠時 (平均HR50)

下図：覚醒時 (平均HR76)

図7 昼夜の標準的プロット図

年層においても急増していることが危惧されている。ストレスにより誘発される多くの身体症状 (睡眠不足, 腰痛, 頭痛, 易疲労等々) は, 明らかな原因を特定することが困難で, 医学的には不定愁訴, 自律神経失調症のような形で報告されている。心拍変動解析で得られる情報が, 単に自律神経活動の評価にととまらず, 循環調節系全般のグローバルな健全性, ひいては心身の様々なバランスを反映している事を示唆するこれらの先行研究も考慮すると<sup>4),9)</sup>, なかなか数値化することが難しい生体の健全性や良好なコンディションの把握という観点でも, 心拍変動解析を活用する可能性が期待される。

一方で, 今後の課題として測定方法をさらに簡便にし, 正確かつなるべく対象者に負担をかけないような形でのデータ収集法を検討する必要がある。また, 心拍変動には正常値のようなものは存在せず, 個人の中でも変動性の大きいデータであるが故に, 縦断的で, 緻密なデータの収集と分析が必要になろう。

## ま と め

心拍変動の解析手段として, 散布図の一つであるローレンツプロット図と簡単な分析指標を組み合わせるにより, 健康者の夜間自律神経バランスを評価することが可能であると考えられた。若年男子大学生のみを対象とした今回の研究では, 日常的な身体活動が夜間の自律神経バランスに及ぼす影響を確認するにはいたらなかったが, 自覚的な体調や加齢の影響は明白に観察された。

筆者等は, アルゴリズムの異なる別測定機器による散布図の評価でも, 被験者のコンディション悪化が, 心拍変動に反映されうることを確認しており, 簡便な散布図を活用した自律神経活動評価の実用性を高める方法を, さらに検討していきたい。

### 謝辞:

本研究の一部は, 第14回日本運動生理学会において発表した。

本研究の一部は, 2004年度中央大学特定課題研究費を用いて行われたものである。

また, 研究を遂行するにあたり, 順天堂大学医学部河合祥雄教授より貴重なご示唆を頂いた。ここに深く感謝致します。

### 参 考 文 献

- 1) Berbalk, A. (1999) Herzfrequenzvariabilitaet bei Ausdauersportlern, 14. Internationales Triathlon-Symposium, Erbach, Band 14, Czwalina Verlag, Hamburg : 95-111
- 2) 後藤由和, 橋本正明, 後藤由美子, 稲葉英夫 (2004) 頭蓋内出血症例における心拍変動解析—ローレンツプロット非線形解析と重症度の関係—, ICUとCCU Vol.28 (12): 1003-1009

- 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: 69
- 4) 早野純一郎 (2001) 心拍変動による自律神経機能解析. 井上博編集 循環器疾患と自律神経機能 第二版, 医学書院, 東京: 71-109
- 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 (2003) 心拍変動によるアスリートのコンディション評価の可能性について, 中央大学保健体育研究所紀要21 : 55-65
- 7) 水野康, 国井実, 清田隆毅, 小野茂之, 駒田陽子, 白川修一郎 (2004) 中高年女性における運動習慣の有無と睡眠習慣および睡眠健康度との関係, 体力科学 53 : 527-536
- 8) 永田晃, 田嶋多恵子 (2005) Mem Calc法による運動生体信号のフベクトル分析, 第60回日本体力医学会ランチョンセミナー資料
- 9) 大塚邦明 (1996) 心拍変動解析 (2) —非線形解析—, Therapeutic Research Vol.17, No.11 : 61-66
- 10) Otzenberger H. et al. (1998) Dynamic heart rate variability: a tool for exploring sympathovagal balance continuously during sleep in men, American journal of physiology, Heart and circulatory physiology. Vol.1 : 946-950
- 11) Pichot V., F.Roche, J. M. Gaspoz (2000) Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners, Med. Sci in Sports & Exercise 32 : 1729-1736
- 12) 柴田真志, 鶴木秀夫, 土肥隆, 松村浩貴, 神吉賢一 (2004) 起床時体温低値男子児童の身体活動, 心臓自律神経活動動態および体温概日リズムの特性, 体育学研究49 : 295-303
- 13) Toichi M., T. Sugiura, T. Murai, A. Sengoku (1997) A new method of assessing cardiac autonomic function and its comparison with spectral analysis and coefficient of variation of R-R interval, Journal of the Autonomic Nervous system 62 : 79-84

参考資料 1 : 活動記録表

**心拍変動解析用・活動記録表**

測定日 ( 年 月 日 ~ 日 )

時刻	活動内容詳細 (○印=特記事項)	区分	CHCK	(区分の書き方)	睡眠時間帯 (矢印)
5:00~					
6:00				主観的評価	はずした時間帯 (ハツ印) 良 (A)→悪 (E)
7:00				身体活動量	多 (A)→少 (E)
8:00				起床時の気分	A B C D E
9:00					
10:00				睡眠の自己評価	A B C D E
11:00					
12:00				前日の身体活動	A B C D E
13:00					
14:00				前日の体調評価	A B C D E
15:00					
16:00					
17:00					
18:00					
19:00					
20:00					
21:00					
22:00				当日の身体活動	A B C D E
23:00					
0:00				就寝時の体調	A B C D E
1:00				就寝前の気分	A B C D E
2:00					
3:00					
4:00				M (女性のみ記入)	前1 中 後1 後2

特記事項  
(自由記入)

個人票	氏名: _____	男 女	年齢: 歳	BMI: _____
	身長			
	体重			
	運動歴 (過去)			
	現在の身体活動状況	( _____ 部所属: 曜日 )		
	常用薬品	なし あり ( _____ 薬)		
	喫煙習慣	なし あり (日 _____ 本程度)		