

1日のどの時間帯に運動を行えば安全かつ効果的か

——生体リズムとの関連から——

東京慈恵会医科大学 塩田正俊

(現所属：山口大学)

(共同研究者) 同 鈴木政登

同 町田勝彦

日本大学 松原茂

同 岩本圭史

東京女子医科大学 坂木佳寿美

Adreno-Sympathetic Nervous and Cardio-Respiratory Responses to Exercise at Different Times of Day

by

Masatoshi Shiota, Masato Suzuki, Katsuhiko Machida

The Jikeikai University School of Medicine

Shigeru Matsubara, Keishi Iwamoto

Nihon University

Kasumi Sakaki

Tokyo Women's Medical College

ABSTRACT

The adreno-sympathetic nervous and cardio-respiratory responses to exercise at different times of day were investigated.

A significant difference were not found for the exercising heart rate, oxygen intake and minute ventilation at different times of day.

However, the significant rise in noradrenaline and adrenaline excretion in urine were observed after exercise early in the morning.

These results suggest that adreno-sympathetic nervous activity are accelerated during exercise early in the morning than that in the afternoon and evening.

要 旨

朝・昼・夜の異なった時間帯に同一負荷量のトレッドミル運動を30分間実施し、その時の心拍数、呼気ガス、尿中カテコールアミン(CA)排泄量を調べ、運動実施時間帯の違いが副腎髄質・交感神経機能および呼吸・循環器機能に及ぼす影響について検討した。

その結果、朝・昼・夜運動時の心拍数(HR)、酸素摂取量($\dot{V}O_2$)、換気量($\dot{V}E$)には顕著な差は認められなかった。しかし、朝運動後の尿中NoradおよびAd排泄量は有意に上昇し、とくに尿中Norad排泄量の上昇程度は夜運動後のそれに比較し有意に高値を示した。

以上の結果から、1日のうちの時間帯の異なる運動では、とくに朝運動時の副腎髄質・交感神経機能の亢進しやすいことが示唆された。

緒 言

健康志向にともない朝・昼・夜を問わずジョギングなどの走運動が盛んに行われている。しかし、その反面ジョギング中での突然死も多く報告され、その原因のひとつとして自律神経系の関与が示唆されている⁷⁾。

ランニング中の突然死の症状の発生時期は、ゴール直後が最も多く、次いでゴール直前、走り始めの順に多いと報告¹³⁾されている。いずれも心臓に対する自律神経機能の激しく変化する時期に相当している⁹⁾。

ところで生体の自律神経機能は、日中では交感神経系機能が優位となり、夜間では副交感神経系機能が優位となる日内リズムを示す。とくに早朝

から午前中にかけて交感神経機能は顕著に亢進する^{12,15)}。このような交感神経機能の過度期に運動を行えば交感神経機能はさらに亢進するものと考えられる。しかしながら、朝・昼・夜の異なった時間帯における運動負荷時の交感神経機能応答については明確にされてはいない。

本研究では、朝・昼・夜の異なった時間帯に同一負荷量のトレッドミル走運動を実施し、その時の心拍数、呼気ガス、尿中カテコールアミン(CA)排泄量を調べ、運動実施時間帯の違いが副腎髄質・交感神経機能および呼吸・循環機能に及ぼす影響について検討すると同時に、これらの結果から1日のうちのどの時間帯に運動を行ったら生体負担が少なく、かつ安全にしかも効果的に運動ができるかについて言及したい。

1. 研究方法

1) 対象者

対象者には平均年齢 19.8 ± 0.8 歳、身長 161.0 ± 6.3 cm、体重 54.8 ± 4.2 kgの健康な女子学生を5名用いた。いずれの対象者も現在は特別な運動習慣を有していないが、過去において運動クラブに所属経験があった。

2) 実験方法

運動負荷は走速度 $6 \sim 8$ km/時、傾斜 3.5% のトレッドミル走で、運動時間は30分間であった。

運動開始時間は朝運動は平均7時54分、昼運動は13時46分、夜運動は18時40分で、いずれの実験でも対象者ごとの運動負荷条件が同一になるよう配慮された。また、3回の運動負荷実験は順不同に行われ、実験ごとの間隔は約1週間あけ

て行われた。

対象者は実験当日に運動開始1時間前に来室し、30分間の椅座位安静の後排尿し、再び30分間の安静の後に運動前の検査、採尿などを行った。その後運動を30分間行い、運動終了後にも同様な検査、採尿などを行った。

なお、各実験での気温および湿度はそれぞれ順に朝の実験では $25.8 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, $63.3 \pm 7.1\%$, 昼の実験では $25.0 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$, $60.3 \pm 6.0\%$, 夜の実験では $25.0 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$, $57.2 \pm 1.9\%$ に保たれた。

3) 測定項目および方法

運動負荷前、運動中および運動終了後5分間にわたり呼気ガス(自動瞬間呼気ガス分析器 SYSTEM-5, AIC社), 心拍数(ダイナスコープ, フクダ電子)を測定した。また運動負荷前後には体温(婦人電子体温計, テルモ), フリッカー値(フリッカー測定器I型, 竹井機器), 体重(50g感度, IUCHI製)および尿中CA(高速液体クロマトグラフィー, THI法)を測定した。

4) 統計処理法

実験結果の統計処理は Student の t-検定を用い確率水準 5% を有意限界とした。

2. 研究結果

1) 朝・昼・夜運動負荷前後の体重, 体温およびフリッカー値の変化

朝, 昼および夜運動負荷後の体重はそれぞれ順に 0.51 ± 0.15 ($P < 0.01$), 0.47 ± 0.03 ($P < 0.01$), 0.53 ± 0.23 kg ($P < 0.05$) の有意な低下を示したが, その低下の程度には3実験間で差は認められなかった。

運動負荷後の体温は, 朝運動で $0.70 \pm 0.35^{\circ}\text{C}$, 昼運動で $0.34 \pm 0.30^{\circ}\text{C}$, 夜運動で $0.56 \pm 0.57^{\circ}\text{C}$ の上昇を示したが, 有意 ($P < 0.05$) な上昇は朝運動後の体温においてだけ認められた。この時の体温の上昇程度には3実験間で差は認められなかった。

運動前後のフリッカー値には一定の傾向は認められなかった。

2) 朝・昼・夜運動負荷時の心拍数, 酸素摂取量, 換気量, 酸素脈および酸素摂取率の変化

図1, 2に運動負荷時の心拍数(HR), 酸素摂取量(\dot{V}_{O_2}), 換気量($\dot{V}E$), 酸素脈(O_2P)および酸素摂取率(O_2R)の経時変化について示した。

朝, 昼および夜運動負荷時の平均HRは, いずれの運動でも運動初期では150拍/分前後であったものが, 運動終了時では175~180拍/分にまで上昇した。この時の運動時の平均HRには3実験間に有意な差は認められなかった。

朝, 昼および夜運動負荷時の \dot{V}_{O_2} および $\dot{V}E$ には3実験間で有意な差は認められなかったが, と

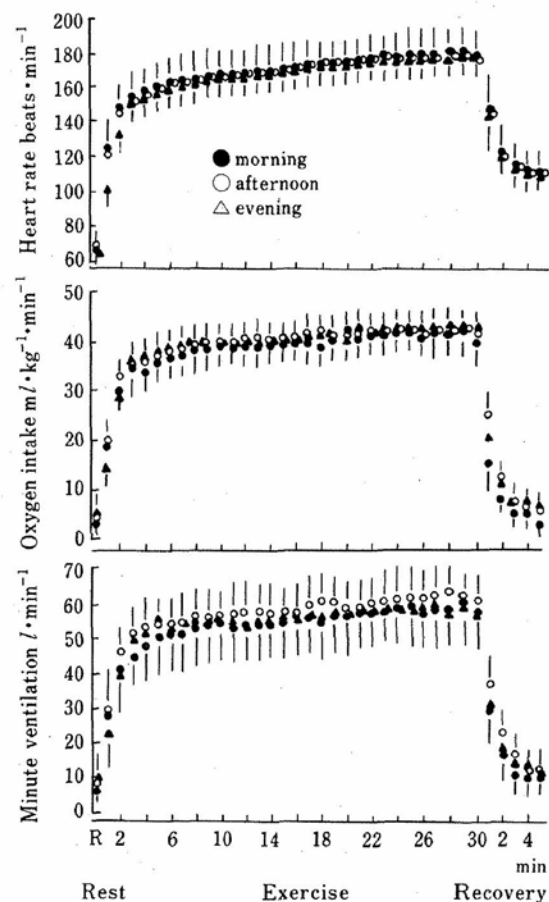


図1 Changes of heart rate, oxygen intake and minute ventilation during exercise at different times of day.

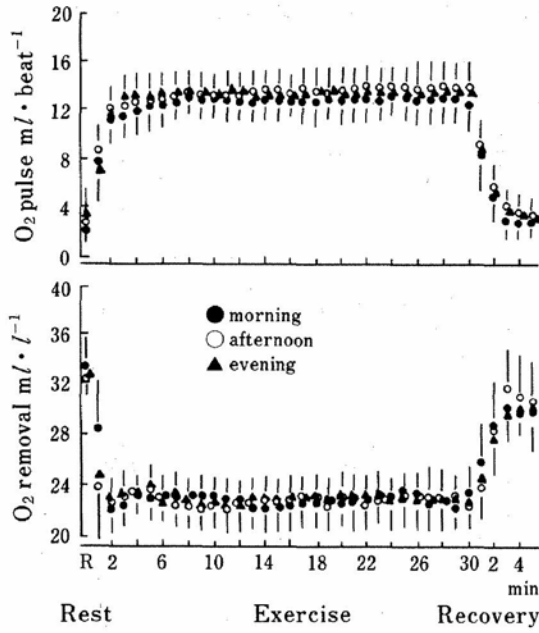


図2 Changes of O₂ pulse and O₂ removal during exercise at different times of day.

くに朝運動時の \dot{V}_{O_2} , $\dot{V}E$ は昼および夜運動時のそれらに比べ低い値を示す傾向にあった。

朝運動時の O₂P および O₂R は昼および夜運動時のそれに比較し低値を示す傾向にあったが、有意な差は認められなかった。

3) 朝・昼・夜運動前および運動時の HR, \dot{V}_{O_2} ,

$\dot{V}E$, O₂P および O₂R の日内リズム

表1に、朝、昼および夜の運動前1分~5分までの、および運動時1分~30分までの、平均HR, \dot{V}_{O_2} , $\dot{V}E$, O₂P および O₂R 値を示した。

運動前および運動時のいずれの項目においても朝、昼、夜の3実験間に有意な差は認められなかった。またこれらの項目の運動前の最高値出現時間は主に夜(18:40)に多く認められたが、運動時では昼(13:46)に多く認められた。

4) 朝・昼・夜運動負荷前後の尿量および尿中カテコールアミン排泄量の変化

表2に、尿量および尿中CA排泄量の経時的変化と運動後120分までの平均尿量および平均尿中CA排泄量を運動前値からの変化量(Δ)として示した。

朝および夜の運動後の尿量には有意な変化は認められなかったが、昼運動後の尿量は運動直後に有意(0.212 ± 0.17 ml/min, P < 0.05)に低下し、その後も低下傾向を示した。しかし、運動後120分間の平均値ではバラツキが大きく有意な変化は認められなかった。

尿中CAのうち、統計的に有意な変化を示した

表1 Heart rate (HR), oxygen uptake (\dot{V}_{O_2}), minute ventilation ($\dot{V}E$), O₂pulse and O₂removal responses to exercise at different times of day.

		M	A	E
HR (beats/min)	resting	66.1 ± 9.4	68.3 ± 10.6	67.1 ± 7.7
	exercise	169.7 ± 18.1	167.7 ± 16.8	165.1 ± 11.5
\dot{V}_{O_2} (ml/kg/min)	resting	2.5 ± 0.5	3.2 ± 1.8	4.8 ± 3.1
	exercise	39.0 ± 4.7	39.6 ± 4.2	39.4 ± 4.0
$\dot{V}E$ (STPD) (l/min)	resting	5.7 ± 0.6	8.3 ± 3.2	9.9 ± 6.7
	exercise	54.7 ± 11.0	57.6 ± 10.2	54.4 ± 12.5
O ₂ P (ml/beat)	resting	2.14 ± 0.21	2.74 ± 1.74	3.68 ± 2.48
	exercise	12.62 ± 1.20	13.13 ± 1.90	13.04 ± 1.62
O ₂ R (%)	resting	33.4 ± 3.0	33.2 ± 3.8	32.7 ± 1.5
	exercise	22.6 ± 2.4	22.6 ± 2.1	23.0 ± 1.6

Values are mean ± SD. M; in the morning, A; in the afternoon, E; in the evening.

表2 Changes of urine volume and catecholamine excretion in urine during exercise at different times of day.

		Pre-ex	Post-ex	Rec 60 min	Rec 120 min	Δ
UV (ml/min)	M	0.18±0.05	0.16±0.06	0.16±0.09	0.49±0.28	0.10±0.17
	A	0.43±0.19	0.22±0.09*	0.21±0.06	0.30±0.12	-0.18±0.20
	E	0.48±0.36	0.42±0.53	0.23±0.11	0.28±0.10	-0.17±0.23
U-Norad (ng/min)	M	33.3± 8.9	51.9±23.4	79.7± 8.7	70.3± 9.3*	34.8±20.5*
	A	59.8±21.9	72.8±31.0	77.7±35.1	101.3±47.0	23.6±40.1
	E	49.2±31.7	39.4±23.5	59.1±18.8	51.5±2.8	-10.4±32.6
U-Ad (ng/min)	M	3.0± 1.1	6.1± 4.1	6.9± 1.5*	9.3± 6.8	5.4± 4.1*
	A	13.9±15.7	17.4±16.1	16.0±14.7	19.1±15.6	1.0± 5.1
	E	9.0± 4.5	7.9± 5.7	9.9± 5.1	9.8± 3.7	-1.9± 5.3
U-DA (ng/min)	M	193± 57	228±129	289± 96	490±291	170±160
	A	402±124	318± 97	351±126	536±365	-15±244
	E	395±260	253±203	281±117	215±138	-192±220

Values are mean±SD. Significance of difference from pre-value : *P<0.05.

Delta symbol (Δ) indicates the difference between pre-and post-exercise value.

M ; in the morning, A ; in the afternoon, E ; in the evening.

のは朝運動後の尿中ノルアドレナリン (Norad) およびアドレナリン (Ad) 排泄量であり, 尿中 Norad 排泄量は運動後 120 分 (33.7 ± 13.2 ng/min, $P < 0.05$) に, また尿中 Ad 排泄量は運動後 60 分 (3.8 ± 1.4 ng/min, $P < 0.05$) にそれぞれ有意な増加を認めた.

運動後 120 分間の平均尿中 CA でも朝運動後の尿中 Norad および Ad 排泄量 (Δ) はそれぞれ 34.8 ± 20.5 , 5.4 ± 4.1 ng/min の有意 ($P < 0.05$) な増加を示した. この運動前値からの増加量は尿中 Norad が $114.3 \pm 77.3\%$, Ad が $125.4 \pm 75.9\%$ の増加量であり, とくに尿中 Norad 排泄量の増加は夜運動時の平均増加量 (-10.4 ± 32.6 ng/min) よりも有意 ($P < 0.05$) に高値であった.

考 察

運動時の循環器系事故の原因のひとつに, 心臓に対する自律神経作用の均衡の乱れが考えられ^{7,10)}, この対策の一環として運動時の自律神経系

応答についての検討^{8,9)}がなされている. しかし, まだ不明な点が多い. とくに運動時の自律神経応答の日内リズムに関する研究はほとんど行われていない⁶⁾.

一方, 朝・昼・夜運動時あるいは安静時の生理学的変数やパフォーマンスに日内リズムのあることが報告され, 多くの変数は朝に低値を示すことが報告されている¹⁻³⁾.

運動時の \dot{V}_{O_2} についても朝運動時の \dot{V}_{O_2} の低くなることが報告¹⁾されている. 一般に, 同一負荷量に対して運動時の \dot{V}_{O_2} が低いことは, 運動の効率が良いこと, あるいは生体負担が少ないこと, などを示しているが, 朝運動時の \dot{V}_{O_2} の低下は, 早朝における自覚疲労感の増加¹⁰⁾や主観的運動強度の高くなること⁴⁾と必ずしも一致しない.

本論ではこれらの点に着目し, 朝・昼・夜運動時の (1) では, 運動の効率について, (2) では, 尿中カテコールアミン排泄リズムについて, 考察する.

(1) 運動の効率について

一般に、同一負荷量の運動時において酸素摂取量が少ないことは運動の効率が良いことを示す。

本研究およびこれまでの研究報告¹⁾からは同一運動負荷に対する朝運動時の \dot{V}_{O_2} は昼および夜の運動時のそれに比べ少なく、運動効率が良くなるものと推測される。

しかし、朝・昼・夜運動時の最大酸素摂取量も早朝の運動で低く、午後に高くなること¹⁾から、生体の運動に対する有気的なエネルギー供給は朝運動で制限を受け、同一負荷量の運動に対しては無気的なエネルギーの動員に頼らざるを得ないのかも知れない。その結果、早朝に高い自覚的な疲労感¹⁰⁾がさらに運動負荷により増大するのも知れない¹⁾。しかし、本研究では、血中乳酸および運動後の酸素負債量は測定していないのでこの点については明かではない。

本研究では、朝・昼・夜運動時の運動効率について、ひとつは呼吸の効率の指標となる酸素摂取率 ($O_2R : O_2\text{removal}$)、もうひとつは酸素運搬系の効率を示す酸素脈 ($O_2P : O_2\text{Pulse}$) を調べた。両者はいずれも持久性維持能力の重要な因子となっている。

さて、最も低い O_2P 値は朝運動で認められ、運動中を通して低い傾向にあった。また、 O_2R 値も朝運動時に低値を示す傾向にあった。これらの結果は酸素運搬系の機能や呼吸の効率が朝運動時に低い傾向にあることを示唆しており、これらの低下は相対的に運動時の \dot{V}_{O_2} の低下と関連する。

したがって、朝運動時の \dot{V}_{O_2} の低下は生体の運動効率が良くなっているためと考えるより、これらの生体諸機能の低下の反映と考えるほうがより合目的的と思われる。それが朝運動時の O_2P 値や O_2R 値などの低下となって示されたのであろう。

したがって、呼吸の効率 (O_2R) や酸素運搬系の効率 (O_2P) からは早朝に運動を行うよりは昼あるいは夜に運動を行う方が効果的と考えられ

る。

(2) 尿中カテコールアミン応答について

本研究結果で、最も著明な差を認めたのは尿中 CA 排泄量応答の違いであった。すなわち、尿中 CA 排泄量のうち尿中 Norad 排泄量は朝運動後に有意に上昇し、その上昇程度には夜運動後の上昇程度と差を認めた。また、尿中 Ad 排泄量についても朝運動後に有意な上昇を認めた。

ところで朝運動後の尿中 CA 排泄量の上昇であるが、当然のごとく、尿中 CA 排泄リズムは早朝から昼にかけて上昇することから自然増加量との差が問題になる。著者ら¹⁰⁾の検討 ($n=10$) では早朝 (4:00~8:00) から昼 (8:00~12:00) までの尿中 Norad および Ad 排泄量はそれぞれ $28.6 \pm 39.3\%$ 、 $45.7 \pm 70.2\%$ の自然増加を示す。

一方、本研究で得られた朝運動後の尿中 CA 排泄量の上昇程度は Norad ; $114.3 \pm 77.3\%$ 、Ad ; $125.4 \pm 75.9\%$ であり、Norad については両者間で有意差が認められた。このことから考えて本研究で得られた朝運動後の尿中 Norad および Ad 排泄量の上昇程度は運動負荷の影響によるものと考えてよい。

一般に、血中 Norad および Ad 濃度は運動強度が $60 \sim 70\% \dot{V}_{O_{2max}}$ を越えると急激に上昇すると報告⁵⁾されている。尿中 CA 排泄量は血中 CA 濃度変化ほどは顕著ではないが、やはり $60 \sim 70\% \dot{V}_{O_{2max}}$ 程度の運動強度から上昇し始める結果が得られている¹¹⁾。しかし、運動実施時間帯と運動後の尿中 CA 排泄量との関係については明らかにされていない。

本実験における5名の運動強度は、運動時の平均 HR から推定¹⁴⁾して約 $80\% \dot{V}_{O_{2max}}$ 程度と考えられ、この運動強度には朝、昼および夜運動に顕著な差はなかった。しかし、それにもかかわらず朝運動後の尿中 CA 排泄量が有意に上昇し、一方、昼および夜運動後の尿中 CA 排泄量に有意な上昇を認めなかったことは、たとえ尿中 CA 排泄

の日内リズムが朝、昼および夜運動後の尿中CA排泄に影響を及ぼしていたとしても朝運動時の交感神経・副腎髄質機能は昼および夜運動時に比較し亢進しやすいことを示唆していると考えられる。

このような朝運動時の交感神経系の機能亢進は運動ストレスに対する一種の適応反応と考えられ、生理学的には合目的反応と考えられる。すなわち、副交感神経機能の優位な早朝の運動⁹⁾では呼吸・循環器系の機能を亢進させるうえで、昼間や夜間の運動に比較し、より交感神経系機能を亢進させる必要があったものと考えられる。

このように考えると朝運動時の交感神経系の機能亢進は一見、合目的反応のように思える。しかし、運動時の事故が自律神経機能の平衡の乱れた時に生じやすいことを勘案すると一概に合目的反応としてだけは捉えにくく、このような朝運動時の過剰な交感神経系の機能亢進は場合によっては運動時の循環系事故を招来しうる可能性が十分あることを考慮しなくてはならないだろう。

このような観点からは、早朝に運動を行うことは好ましくないのかも知れない。しかし、これらの反応も個々人によって違いがあり、これらの点も考慮し運動の実施時間帯を選択する必要がある。

文 献

- 1) Charles M. W., Charles W. D., Daniel C. H.; Circadian rhythms and athletic performance, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **17**, 498-516 (1985)
- 2) Cohen C. J.; Human circadian rhythms in heart rate response to a maximal exercise stress, *Ergonomics*, **23**, 591-595 (1980)
- 3) Cohen C. J., G. E. Muehl; Human circadian rhythms in resting and exercise pulse rates, *Ergonomics*, **20**, 475-479 (1977)

- 4) Faria I. E., B. J. Drummond; Circadian changes in resting heart rate and body temperature, maximal oxygen consumption and perceived exertion, *Ergonomics*, **25**, 381-386 (1982)
- 5) 井川幸雄, 鈴木政登, 塩田正俊; カテコールアミン, レニン, アンギオテンシンおよびcAMP反応に及ぼす運動負荷強度の影響, *体育科学*, **12**, 201-212 (1984)
- 6) 石田良雄, 安東明夫, 大河内寿一, 尾崎 仁, 谷明博, 武田 裕, 堀 正二, 北畠 顕, 井上通敏, 鎌田武信; 生体リズムと運動効果に関する研究, 早朝運動の効果とリスクについて, *体力研究*, **65**, 1-7 (1987)
- 7) 村上正博; 運動による循環系事故の対策, *体力科学*, **28**, 220-222 (1979)
- 8) 村上正博, 坂本静男, 川原 貴, 黒田喜男; 運動時の事故に関する研究, 昭和57年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, p.57-63 (1982)
- 9) 塩田正俊, 松本信雄; 運動時の自律神経応答一心電図R-R間隔変動係数を指標として一, *Hearth Sciences*, **4**, 36-45 (1988)
- 10) 塩田正俊, 須藤正道, 松本信雄; 大脳覚醒水準—副腎・交感神経系機能の日内リズムに及ぼす時差の影響—フリッカー値および尿中カテコールアミン排泄量を指標として一, *宇宙航空環境医学*, **26**, 9-17 (1989)
- 11) 塩田正俊, 鈴木政登, 桜井智野風, 松原 茂, 井川幸雄, 町田勝彦; 尿中カテコールアミン測定の意義, 第45日本体力医学会大会号, p.108 (1990)
- 12) Sowers J. R., Connelly-Fittinghoff, M., Tuck M. L., Krall J. F.; Circadian fluctuation in serum norepinephrine, *Cardiovasc. Res.*, **17**, 184-188 (1983)
- 13) 杉下靖郎, 松田光生, 飯田啓治, 伊藤 巖, 越永重四郎, 上野正彦; スポーツと突然死, *臨床成人病*, **12**, 1605-1612 (1982)
- 14) 体育科学センター編; 健康づくり運動カルテ, 講談社, 東京, p.63 (1976)
- 15) 田辺津紀江, 田畑克子, 井辻泰子, 阪口博保, 玉井哲男, 村田健二郎; 高速液体クロマトグラフィーによる健常人尿中カテコラミンの測定およびその動態について, *臨床病理*, **29**, 94-100 (1980)
- 16) 安井昭二, 池田こずえ, 八巻通安, 今田 剛, 立木 楷; 致死性不整脈の臨床, *日本医事新報*, **3261**, 3-9 (1986)