

スポーツの場における喫煙の影響に関する研究
—作業前後の喫煙がパフォーマンスや自律神経に及ぼす影響—

富山大学 山地啓司
(共同研究者) 同 橋爪和夫
富山医科薬科大学 小野寺孝一
同 梅野克身
北川内科クリニック 北川鉄人

Effect of Smoking on Performance in Sports
— Effects of Smoking before and after Exercise on Performance
and the Autonomic Nerve System —

by

Keiji Yamaji, Kazuo Hashizume,
Faculty of Education, Toyama University
Kouich Onodera, Katumi Umeno
Faculty of Medicine,
Toyama Medical and Pharmaceutical University
Tetsundo Kitagawa
The Kitagawa Internal Medicine Clinic

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the acute effects of cigarette smoking on heart rate, vagal-cardiac nerve activity at rest and during a short isometric work (Experiment 1) and peak anaerobic power test of riding a bicycle (Experiment 2), and

of 8-19 days of abstinence from cigarette on the cardiorespiratory capacity ($\dot{V}O_2$, \dot{V}_E , HR, LA and vagal-cardiac nerve activity during the submaximal and maximal running on a treadmill and at rest (Experiment 3), in healthy adult men. Measurements of vagal-cardiac nerve activity were made at rest and during exercise by use of the technique of spectral analysis of heart rate variability. Smoking provoked the following changes; Heart rate at rest increased 1-22 beats/min. After bicycling peak anaerobic power test, heart rate increasing before cigarette smoking were due to decreasing the level of the vagal-cardiac nerve activity, and heart rate increasing after cigarette smoking were reversely due to increasing the level of the sympathetic nerve activity. Abstinence from cigarette smoking provoked the increase of vagal-cardiac nerve activity of levels and consequently decrease of heart rate during and after treadmill running at almost all stages. However, $\dot{V}O_2$, \dot{V}_E and LA during submaximal and maximal running were different from subject.

So we would like to suggest that smoking acutely increased the heart rate at rest, as a result of reducing baseline level of vagal-cardiac nerve activity. After the shortest bicycling anaerobic power test, heart rate increased as a result of reducing baseline of vagal-cardiac nerve activity before smoking, and heart rate increasing after smoking were reversely due to increasing sympathetic nerve activity. The abstinence (8-19 days) from smoking reduced the heart rate and increased the vagal-cardiac nerve activity during maximal and submaximal exercise and at rest.

要 旨

本研究は、喫煙習慣（約20本/日）のある健康な男子を対象に、喫煙による安静時や等尺性の短時間の運動中（実験Ⅰ）や自転車駆動による最大無酸素性パワー作業中・後（実験Ⅱ）あるいは喫煙中止による最大下及び最大のトレッドミル走後（実験Ⅲ）の心拍数や副交感神経の活動水準への影響について明かにすることを目的とした。副交感神経の活動水準は心拍の周波数分析によって測定した。その結果、喫煙は心拍数を1～22拍/分高め、最大パワーテストによる心拍数の高まりは喫煙前では副交感神経の活動水準の低下に、喫煙後では逆に交感神経の活動水準の高まりによる。また8～19日の喫煙中止は安静時や最大下

のランニング中の心拍数を低下させ、副交感神経の活動水準を高めるように作用する。しかし、最大及び最大下作業中の $\dot{V}O_2$, \dot{V}_E , LAへの影響は個人によって異なった。本研究結果から喫煙によって副交感神経は抑制を受け心拍数を高めるが、喫煙後の短時間の無酸素的 maximum パワーテストでは、交感神経の活動水準の高まりによって心拍数は高まる。また、喫煙の中止は最大あるいは最大下作業及び安静時において、逆に副交感神経を興奮させ、心拍数を低下させることが明かとなった。

緒 言

タバコの煙にはガス相と微粒子相があり、前者の有害成分には一酸化炭素、酸化窒素、アンモニア、揮発性ニトロソアミン、シアン化水素、揮発

表1 Physical and smoking characteristics of the male subjects(Exp. I).

Subj.	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Handgrip strength		Smoking characteristics		Exercise habit days/week
				30 % Max (kg)	Duration (sec)	Duration (yrs)	No. of cigarettes smoked per day	
E.S.	22	174	66.0	18.0	60	4.0	6	2
K.T.	20	167	57.5	16.8	60	3.5	10	6
O.T.	21	176	65.0	17.4	20	4.0	14	6
O.M.	20	177	67.0	16.0	60	1.5	15	5
K.Y.	21	170	78.0	14.5	60	4.0	10	2

性炭化水素, アルコール等が, また後者にはニコチン, 水およびタール等が含まれる. 中でも, 一酸化炭素とニコチンは代表的有害物質である. これまで, 喫煙の運動への影響については一酸化炭素による酸素運搬系への影響が特に論じられてきた^{4), 18)}. 一方, ニコチンは交感神経を興奮させ, 副交感神経に抑制的に作用することが知られている. これまでの報告では心拍数や血圧の上昇^{3), 6)}, 生化学的物質 (アドレナリン, エピネフリン) の増加^{5), 10)} 等によって自律神経への影響が明かにされてきた. また, Niedermaier et al¹¹⁾ は心拍の周波数分析を用いて喫煙が副交感神経の活動水準を低下させることを明かにしている. しかし, この報告は運動への影響に関連づけたものではない.

現在日本の成人男子の中2人に一人が, また成人女子では10人に1人が喫煙者である. “タバコは百害あって1利なし” という言葉を十分認識しているにもかかわらず, 日本人の喫煙者の数は一向に減少する気配がない. なぜこのような現象が生じたのであろうか.

運動選手の中にも喫煙者は少なくない. アメリカ大リーグのマリナーズの佐々木投手はいざ出番という時に一服吸うのを常としているという. また, スキーのジャンプ選手も自分の試技が近づいてくると過緊張を静めるために, 喫煙をするという. 喫煙にこのような効果はたしてあるのか, 本研究では心拍の周波数分析を行うことによって喫煙の自律神経への影響を明かにすることを試みた.

そこで, 本研究は, 実験 I では喫煙や喫煙後の

軽作業による心拍数や副交感神経への影響について, 実験 II では喫煙の短時間の激しい作業や副交感神経への影響について, 実験 III では短期間の喫煙中止による呼吸・循環機能への影響についてそれぞれ明かにすることによって, 喫煙の作業成績や自律神経への影響について総合的に検討することを目的とした.

1. 研究方法

1. 1 喫煙や喫煙後の軽作業の心拍数や副交感神経への影響について (実験 I)

被験者は健康な男子学生5人である. 彼らの身体的特性や喫煙習慣は表1のごとくである. 実験室に到着した被験者は休息の後デジタル握力計 (TAKEI) を用いて最大握力を測定した. その後, 胸部に電極をつけ, テレメーター (Biomulti 1000 PN1822 NEC) を用いて心拍数を連続的に記録できるようにした. 続いて, 被験者は椅座で安静状態を保った後, 3.5~4分で1本のタバコを任意のリズムで吸い, その後5~6分間安静を保った (図1). あらかじめ測定しておいた被験者の最大握力の30% (30% Max) で20~60秒

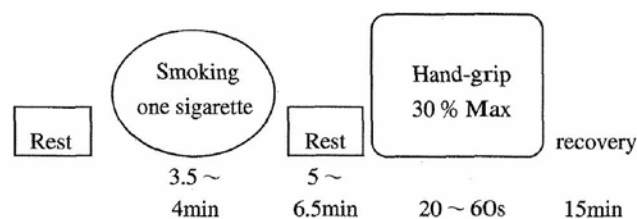


図1 Protocol of Experiment I

表2 Physical characteristics and performance of handgrip strength and bicycling anaerobic maximal power before and after smoking(Exp. II).

Subj.	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Handgrip (kg)	Maximal anaerobic power			Smoking characteristics		
					Resistance (kp)	No. of peak cycling	Power (Watts)	Duration (yrs)	No. of cigarettes smoked per day	
K.Y.	21	170	78.0	before	61.3	5.8	151	760	4.0	10
				after	63.3	5.8	154	750		
Y.N.	21	180	73.0	before	57.6	5.5	171	752	3.5	10
				after	54.3	5.5	171	749		

間維持し、引き続いて4分間安静状態を保った。この間連続して得られた心拍数の周波数分析をフラクレットTM(全自動循環動態・自律神経系活性解析システム, 大日本製薬KK)を用いて行った。

1. 2 喫煙前後の握力と最大パワー作業にみられる副交感神経の変動(実験II)

二人の被験者に対して(表2), 椅座状態での5~6分の安静の後, 模擬喫煙を任意のリズムで5分間行った。その後最大努力で握力を測定し、引き続いてコンビ社製のパワーマックスを用いて自転車駆動による最大パワーを測定した。約15分間の椅座による安静状態を保った後, 模擬喫煙の際と同様な任意のリズムで5分間の喫煙を行い、先と同様に最大握力と最大パワーを測定した。その後再び被験者は椅座で15分間の安静状態を保った。一連の実験中, 胸部誘導から連続的に心拍数の測定と心拍の周波数分析を行った。

1. 3 8~19日間の喫煙中止による呼吸・循環機能や副交感神経への影響について(実験III)

被験者は0.7~20年間の喫煙経験を有する健康な男子学生(その中, 院生1人)であった。その身体特性や喫煙習慣等は表3のごとくである。被験者Y.Y.とH.N.は8日間, M.N.は19日間の喫煙の一時中止を行った。被験者M.N.は喫煙中止中体調を崩し約10日間の安静を強いられたため, 8日間の中止予定を19日間に延長せざるを得な

表3 Physical and smoking characteristics of the male subjects before and after abstinence from smoking(Exp. III).

Subj.	Age (yrs)	Physical characteristics			Smoking characteristics	
		Height (cm)	Weight (kg)		Duration (yrs)	No. of cigarettes smoked per day
		Before	Before	After		
Y.Y.	22	168.5	58.0	58.0	0.7	20
M.N.	20	185.0	75.0	75.0	1.5	20
H.N.	40	171.0	60.0	62.0	20.0	23

った。喫煙一時中止の前後にトレッドミル走による最大・最大下作業を行い、走行中の呼吸・循環機能および心拍の周波数分析による副交感神経の活動水準を検討した。ただし、喫煙中止前のテストではテスト前に一本の喫煙を各被験者の任意のリズムで行った。したがって、喫煙の急性と慢性的影響がその後の最大・最大下作業時の呼吸・循環機能や自律神経に表れたものといえる。各被験者は第1段階のランニング速度を150m/minとし、3分間のランニングを行い、その後2分間の立位安静を保った。引き続いてランニング速度を30m/min高め180m/minにし、3分間のランニングを行った(図2)。このように、2分間の立位の休息をはさみながら3分間のランニングを30m/min高める漸増負荷法でexhaustionに達するまで実施した。

exhaustionに達した後椅座状態で25分間の安静を保ち、その間約10分間隔で採血を行い、ラクトレート・プロ(京都第一科学)を用いて乳酸の測定を行った。なお、フェイスマスクを通して作業5分前の安静時から作業中及びexhaustionに達した後の25分間の回復期を通して連続的に日本電

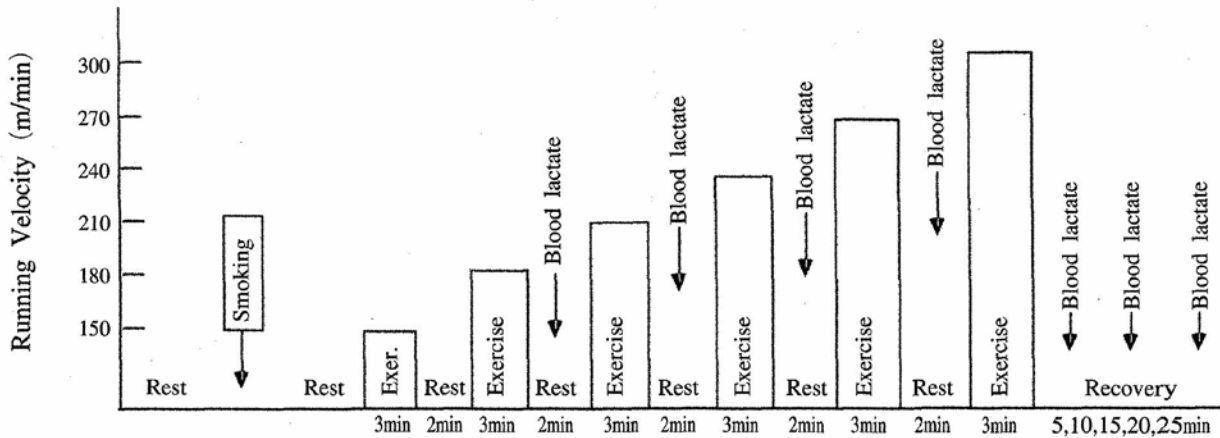


図2 Protocol of Experiment II

気三栄製自動代謝分析器 (Processor Unit 1328 & Expired Gas Monitor 1H21B) を用いて、肺換気量 (\dot{V}_E) および酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) 等の測定を行った。

各トレッドミル走行中の最も高い1分間の $\dot{V}O_2$ を最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) とし、肺換気量 (\dot{V}_E) は $\dot{V}O_{2max}$ の発現した時の値とした。また、実験を通して胸部誘導からテレメーターを用いて心拍数を連続的に記録し、同時に心拍の周波数分析を行った。各ランニング速度での心拍数は作業終了直前のモニター上に表示された心拍数を用いた。さらに、exhaustionに達した時の心拍数も同様にして求め、その値を最高心拍数 (HR_{max}) とした。

1. 4 インフォームド・コンセント

被験者に対して実験の主旨や方法を十分説明し、実験参加の同意を得た。

2. 結果

2. 1 実験 I

各被験者が任意のリズムで1本のタバコを吸った後の心拍数には1~22拍/分の増加が認められ、個人差が顕著であった(図3)。それに対応する副交感神経は心拍数が喫煙によって15拍/分以上増加した被験者E.S.とK.Y.の二人については抑制が、1~7拍/分の少しの増加しか認めら

れなかった残りの三人には逆に興奮傾向が認められた。副交感神経の活動水準の低下は喫煙中よりも喫煙後に引き続いて認められた。続いて、30% Maxでの握力を20~60秒間続けると心拍数や副交感神経の活動水準には大きな変動が認められなかったが、その後の安静によって副交感神経の活動水準は若干増加した。この一連の行動中、心拍数に大きな変動が認められなかった三人の被験者(K.T., O.T., E.S.)には、同様に副交感神経の活動水準に大きな変動が認められなかった。しかし、喫煙によって心拍数に15拍/分以上の増減が認められた二人の被験者の副交感神経の活動水準には大きな変動が認められた。

2. 2 実験 II

喫煙前の握力測定時に5~10拍/分の心拍数の高まりが認められた(図4, 図5)。その後の自転車駆動による無酸素的的最大パワー測定時には副交感神経の活動水準は低下し、対照的に心拍数は約30拍/分増加した。最大パワーテストの2~3分後には、副交感神経の活動水準は急激に高まり、心拍数は急速に低下し、その後いずれも安静値に回復した。続いて、約4分間の喫煙によって心拍数は約30拍/分高まり、副交感神経の活動水準は低下した。その後の自転車駆動による無酸素的的最大パワー測定では心拍数は喫煙前の最大

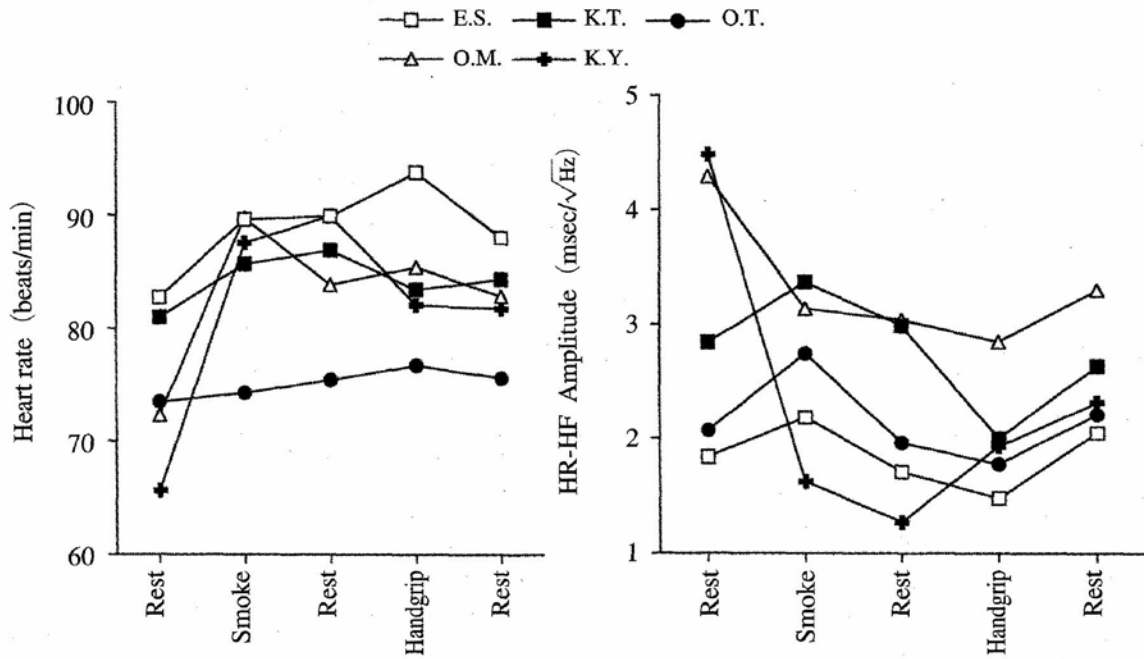


図3 Changes in the heart rate and heart rate high frequency amplitude during the resting, smoking, and maintaining of 30% of the maximum grip strength.

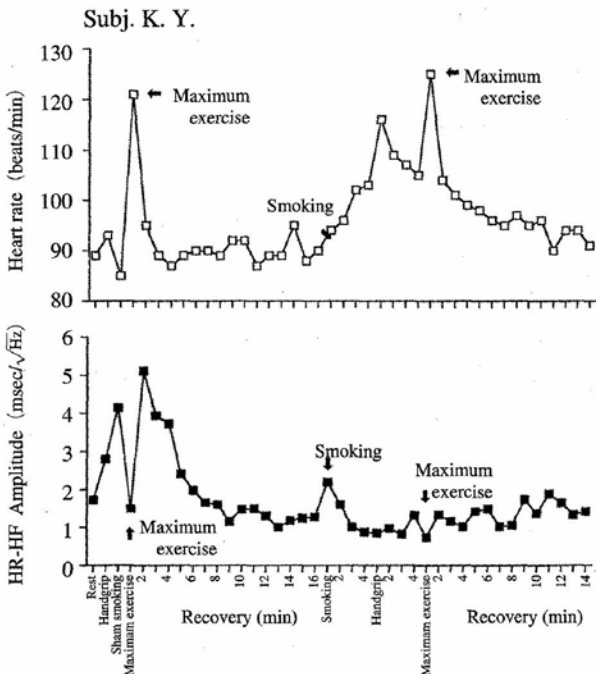


図4 Changes for heart rate and heart rate high frequency amplitude during handgrip strength, smoking and maximum cycling exercise.

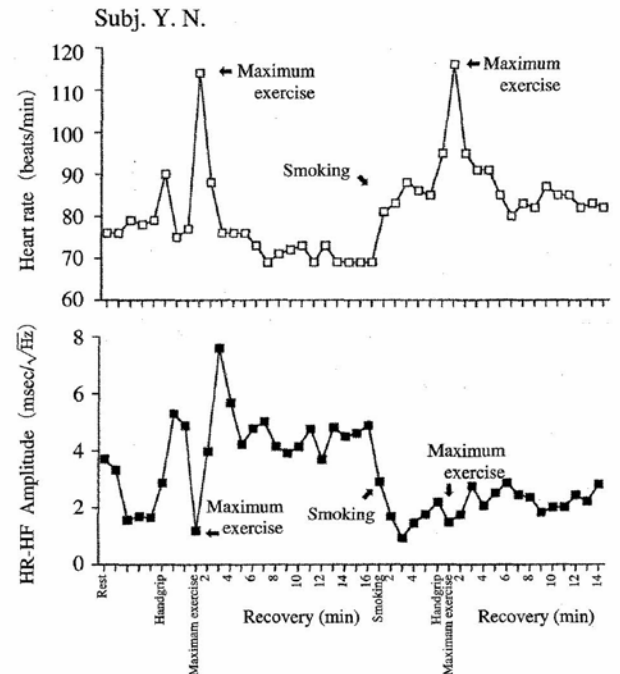


図5 Changes for heart rate and heart rate high frequency amplitude during handgrip strength, smoking and maximum cycling exercise.

パワー測定時と同様の高まりを示すものの、副交感神経の活動水準には大きな変動が認められなかった。

2. 3 実験Ⅲ

喫煙習慣を8日間 (Y.Y., H.N.) と19日間

(M.N.) 一時中止した時の影響を呼吸・循環機能と副交感神経の活動水準から検討した。その結果、最大下作業では二人の被験者 (Y.Y.とH.N.) は喫煙中止前の心拍数と血中乳酸が高く、ランニング中の酸素摂取量が低い傾向を示した (図6, 図7)。一方、被験者M.N.は先の二人の被験者とは

対照的に喫煙中止後心拍数と血中乳酸が高くなり、ランニング中の酸素摂取量が低くなる傾向を示した(図8)。三人の被験者に共通することは速度の異なるランニング間の2分間の安静時の副交感神経の活動水準が喫煙中止によって高まり、それを反映して心拍数が顕著に低下することである。しかし、ランニング中の副交感神経の活動水準には一様な変化が認められなかった。最大作業では三人の被験者の $\dot{V}O_{2max}$ ($l/min, ml/kg \cdot min$), \dot{V}_E (l/min), RE, LA at exhaustion (mM/L) に一様な傾向が認められなかったが, HR_{max} は喫煙中止後の方が3~6拍/分低くなった(表4)。

3. 考 察

1本の標準的タバコを喫煙することによって1-4mgのニコチンが体内に取り入れられ、心拍数は10-20拍/分増加する⁸⁾。この心臓機能の活動水準の高まりは、ニコチンの①頸動脈体への直接刺

激、②副腎髄質や末梢交感神経節の刺激によるアドレナリンやノルアドレナリンの増加によるものと考えられている¹⁶⁾。したがって、ニコチンの影響は心拍数の高まりや、アドレナリンやノルアドレナリンの増減によって知ることが可能である。さらに、最近では心拍の周波数分析から交感神経と副交感神経の興奮・抑制の動態を知ることが可能になってきた^{19), 20)}。しかし、低周波成分(Lo)と高周波成分(Hi)の区分の仕方はかならずしも統一されておらず¹⁷⁾、本研究ではPerini et al¹²⁾が用いたLoが0.05~0.15(Hz)、Hiが0.15≤(Hz)の基準値を採用した。また、副交感神経の活動水準の指標としてHi成分が用いられるが交感神経の活動水準としてのLo/Hiはかならずしも交感神経の活動水準を表していないという指摘も少なくない^{1), 12)}。そこで本研究ではHi成分の変動から副交感神経の活動水準を占うことにした。

本研究では1本のタバコを任意のリズムで喫煙

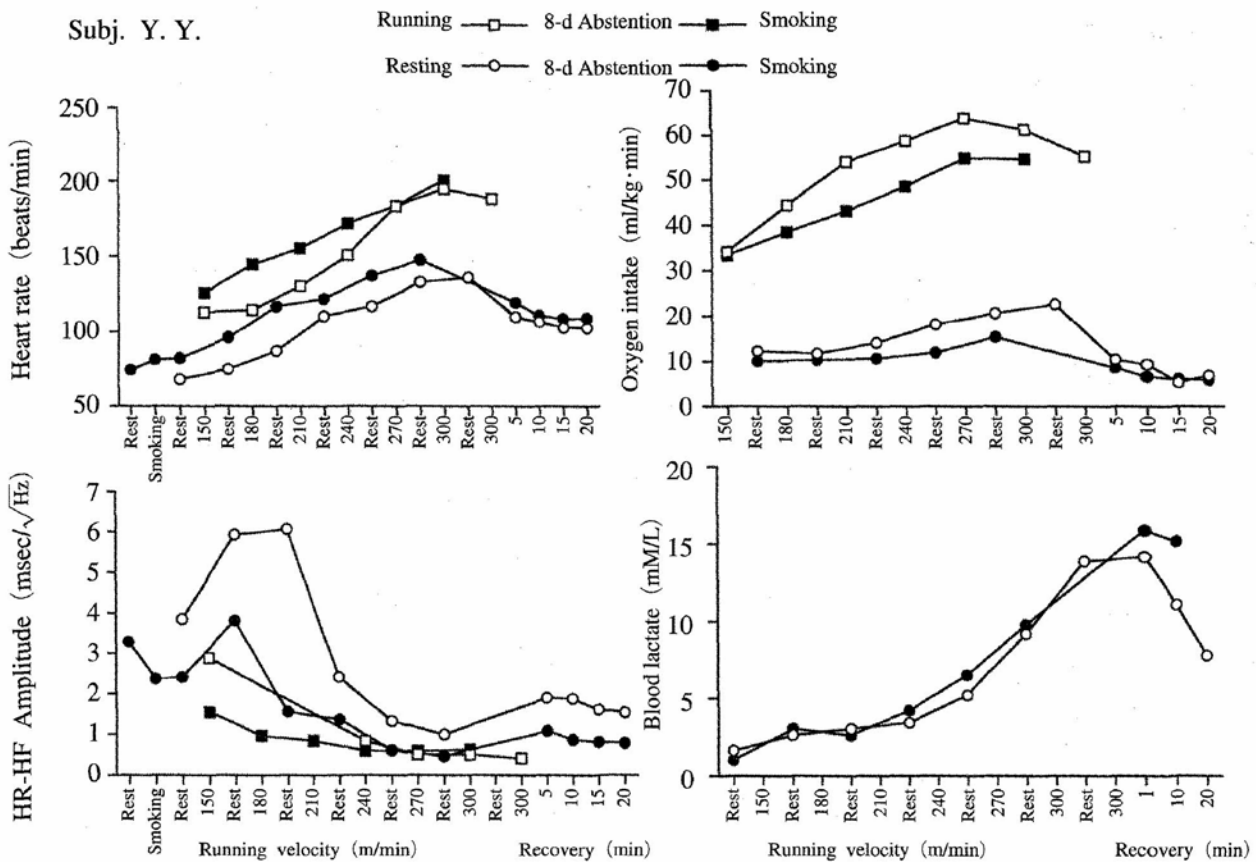


図6 Changes in the heart rate, heart rate high frequency amplitude, oxygen intake and blood lactate during the resting and treadmill running.

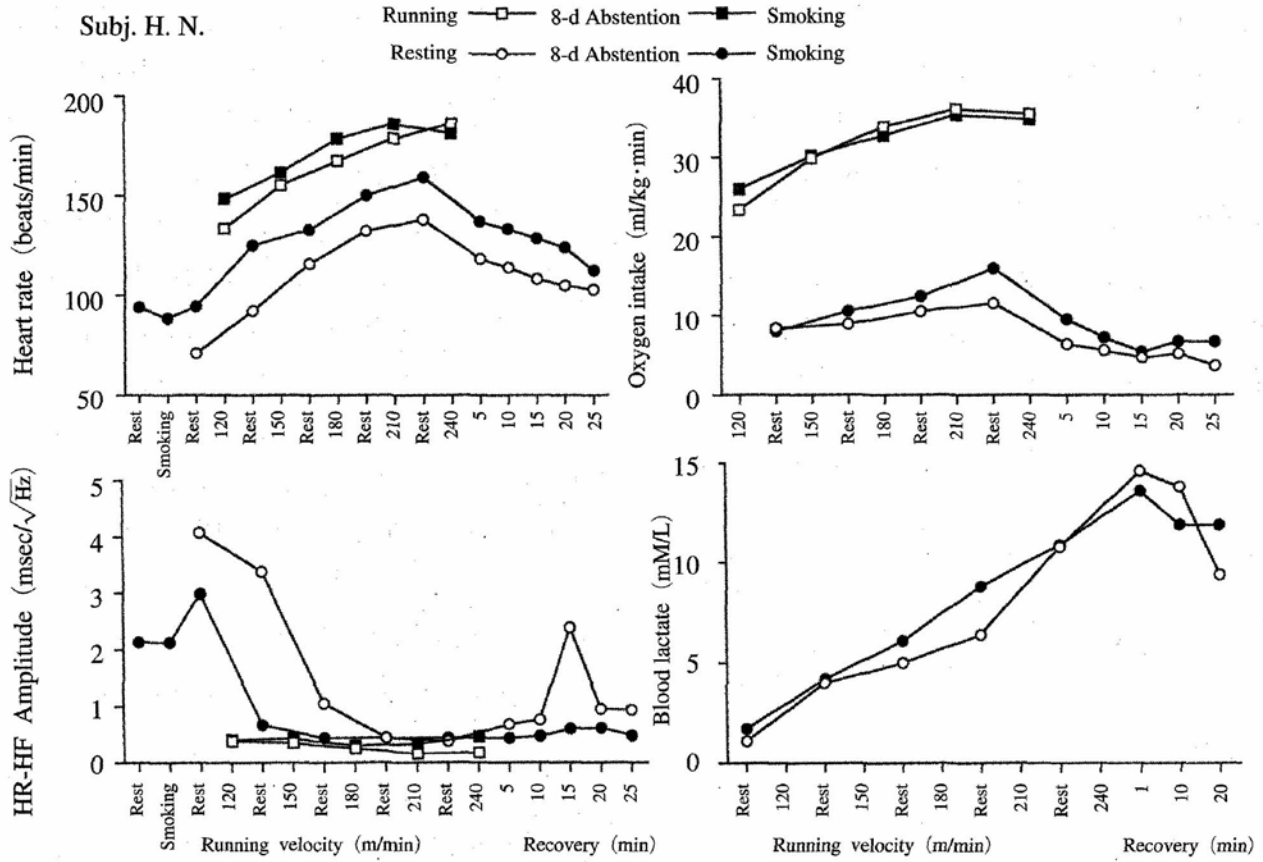


図 7 Changes in the heart rate, heart rate high frequency amplitude, oxygen intake and blood lactate during the resting and treadmill running.

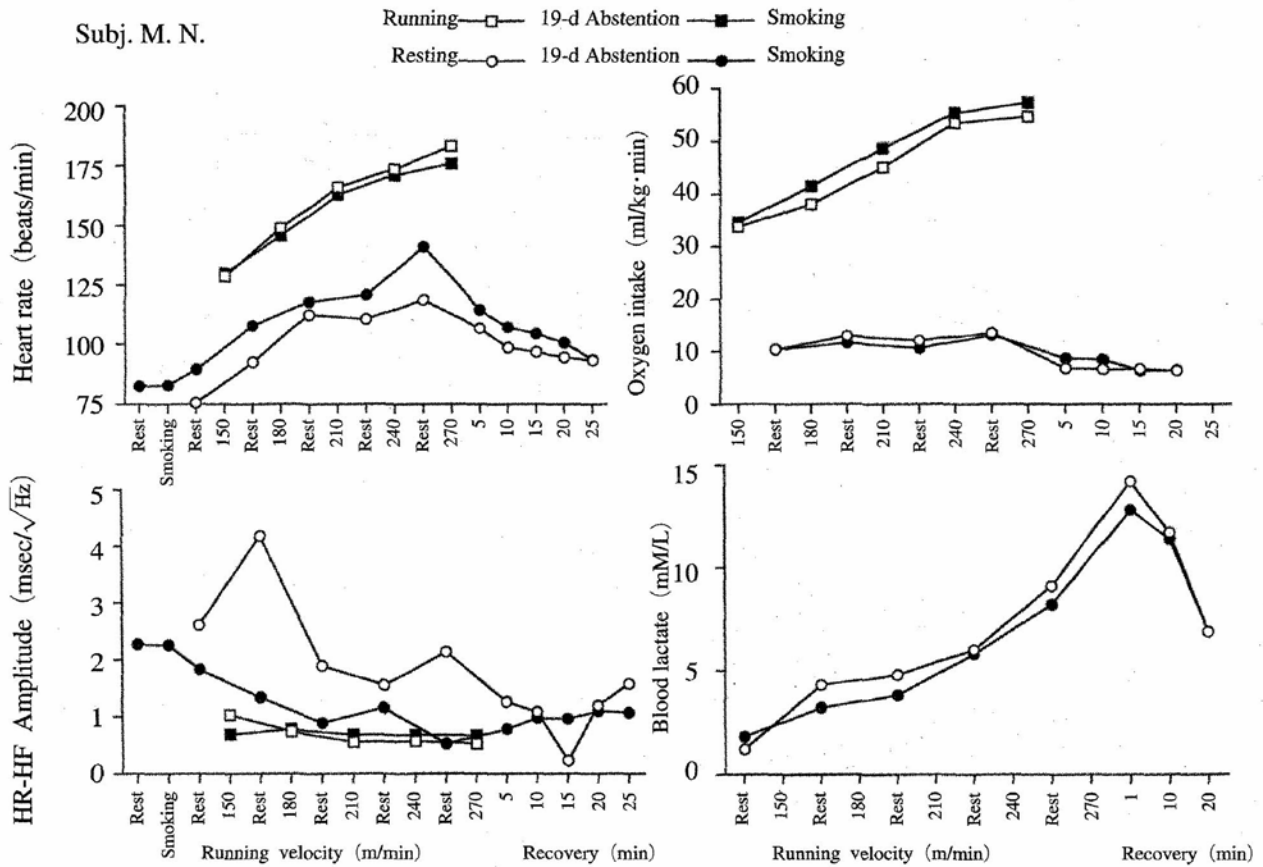


図 8 Changes in the heart rate, heart rate high frequency amplitude, oxygen intake and blood lactate during the resting and treadmill running.

表4 Performance and cardio-respiratory parameters at exhaustion on the treadmill running before and after abstinence from smoking(Exp.IV).

Subj.	Age (yrs)	Treadmill exercise prolonged duration(sec)		$\dot{V}_{O_{2max}}$	\dot{V}_E (STPD)	RE	HR _{max} (beats/min)	LA at exhaustion (mM/L)	
				(ℓ /min)	($\text{ml}/\text{kg}\cdot\text{min}$)				(ℓ /min)
Y.Y.	22	Before		3.19	55.0	106.7	1.09	202	15.9
		After	120	3.71	63.9	107.8	0.99	196	14.2
M.N.	20	Before		4.30	57.3	122.6	1.10	183	12.8
		After	0	4.15	55.3	114.3	1.09	178	14.2
H.N.	40	Before		2.09	34.8	70.0	1.04	190	13.6
		After	95	2.29	36.9	79.5	1.12	187	10.8

$\dot{V}_{O_{2max}}$: maximal oxygen intake, \dot{V}_E (STPD): respiratory ventilation, RE: respiratory exchange ratio, HR_{max}: maximal heart rate, LA at exhaustion: Lactic Acid at exhaustion.

することによって、安静心拍数には1~22拍/分の増加が生じ、個人によって大きく異なった。喫煙前の心拍数が比較的低い二人は15拍/分以上の高まりを示し、それを裏付けるように副交感神経の活動水準も大幅な低下を示した。一方、喫煙前にすでに80拍/分を越えていた二人は喫煙によって4~5拍/分の増加しか示さず、副交感神経はむしろ興奮傾向を示した。後者の例は高まった緊張を喫煙によって逆に低下させる効果があることを示唆するものであった。すなわち、喫煙によるニコチンの生理学的作用以上に副交感神経を興奮させる何物かが存在することを示唆するが、それが喫煙時の呼吸法によるものか否かさらに検討を要するであろう。喫煙後の20~60秒内の握力の30% Maxの軽作業は副交感神経の興奮を高める傾向を示したが、心拍数の変動を見る限り大きな変動が認められなかったことから、この程度の副交感神経の変動は心拍数に変化を与えないものといえる。Rode et al¹³⁾は喫煙による心拍数の急激な高まりは6分間で約10拍/分低下することを報告している。しかし、本研究では高まった心拍数は経時的に減少する傾向を示さなかった。これは次に行われる軽作業を意識した結果、副交感神経が抑制的に作用したとも考えられる。なぜなら、Robinson et al¹⁴⁾が指摘するように約100拍/分以下の心拍数の変動は主に副交感神経の抑制あるいは興奮によるとみなしているからである。

実験IIでは喫煙前後に自転車駆動による無酸素

的最大パワーと握力を測定したが、喫煙前後の作業成績にいずれもほとんど差が認められなかった。喫煙前の最大パワー測定時の心拍数の高まりは副交感神経の活動水準の低下による。そして、喫煙後の心拍数の高まりは副交感神経の活動水準にはほとんど変動が認められないことから交感神経の興奮に負うところが大きいと考えられる。したがって、投手がリリースの時、あるいはスキージャンプ選手が試合直前に一服吸うのは副交感神経の活動水準を高める(緊張の抑制)のではなく、むしろ交感神経の活動水準を高める(興奮)のに有効と考えられる。しかし、本研究ではわずか二例であるので、この結論を導くためにはさらに多くの被験者について検討する必要がある。

先の筆者ら⁶⁾の喫煙中止(約1週間)に伴う呼吸・循環機能への影響に関する研究では、安静時の心拍数や血圧には有意な変化がなかったが、ウォーキングやランニング中の最大下作業中の心拍数には有意な低下が認められた。本研究では被験者3人の中二人に同様な傾向が認められた。この低い心拍数は喫煙中止後の高い副交感神経活動水準によって裏付けられた。3週間の喫煙の中止によってKrumholz et al⁹⁾は最大下作業の酸素負荷量が、Hirsch et al⁷⁾は酸素摂取量が低下することを報告しているが、本研究では被験者が少なかったことや被験者の一人が喫煙中止中約10日間の静養が必要であったため、かならずしもランニング中や安静時の酸素摂取量や乳酸値に一樣な傾向

が認められなかった。これが被験者の特性（個人差）によるものかそれともその他の要因によるのかについては、より数多くの被験者を対象にさらに検討しなければならないであろう。

また、先の筆者らの報告⁶⁾では $\dot{V}O_{2max}$ やそれに同期した \dot{V}_E に有意な改善が認められなかったが、本研究では三人の中二人の $\dot{V}O_{2max}$ に16.2%と6.0%の改善が認められた。喫煙の経験が1年間にも満たないY.Y.では \dot{V}_E にほとんど改善が認められなかったことから、酸素摂取率の改善、すなわち、COHbの減少に伴うHbの酸素運搬能力の改善に負うものと考えられる。しかし、20年間の喫煙経験を有するH.N.は肺換気量に9.51/分の増加が認められ、 $\dot{V}O_{2max}$ の6.0%の高まりは \dot{V}_E の増加に負う。さらに、 \dot{V}_E の増加は気道における呼吸抵抗の改善に負うところが大きいと考えられる。しかし、これらは推測の域を出ないので、今後さらに精査を加える必要がある。

なお、本研究では喫煙中止によって HR_{max} には3~6拍/分の低下が生じた。これは、持久性トレーニングにみられる HR_{max} の低下傾向と同様に副交感神経のベースラインそのものの高まりによるものと推測される。Dressendorfer et al²⁾は喫煙者は非喫煙者に比べて持続時間が約8%短いことを報告している。また、Hashizume et al⁶⁾は1週間の喫煙中止によって持続時間が有意に改善されるとしている。本研究では、Y.Y.とH.N.の持続時間が120秒と95秒改善された。この改善は両者の $\dot{V}O_{2max}$ の大幅な改善(16.2%と6.0%)によるものといえる。

4. まとめ

本研究は、実験Ⅰ（被験者5人）では喫煙やその後の軽作業による心拍数や副交感神経への影響について、実験Ⅱ（被験者2人）では喫煙による握力や最大パワーへの影響について、実験Ⅲ（被験者2人）では喫煙中止による呼吸・循環機能や

副交感神経の影響についてそれぞれ検討を加えた。その結果、以下の結論を得た。

1. 喫煙者の安静時における一本の喫煙によって、心拍数は1~22拍/分増加し、個人による差が顕著であった。心拍数の増加は副交感神経の抑制とほぼ連動した。
2. 軽作業は副交感神経の回復を速める傾向を示すものの、心拍数への影響はほとんどなかった。
3. 喫煙前後の自転車駆動による無酸素的最大パワー測定では、心拍数が約30拍/分高まる。しかし、心拍の高まりは喫煙前が副交感神経の活動水準の抑制に負い、喫煙後では副交感神経というよりはむしろ、交感神経の活動水準の高まりに負うと考えられる。
4. 喫煙中止によって、呼吸・循環機能($\dot{V}O_2$, \dot{V}_E , HR, LA等)や副交感神経に改善傾向が認められるものの、かならずしも一様な傾向を示さなかった。
5. 本研究では、喫煙あるいは喫煙中止による生理学的変動について調査を行ったが、一様な傾向を得るまでに至らなかった。これが個人差によるものか、それとも喫煙経験(年数や一日の喫煙本数)やその他の要因によるものか、今後は対象者を多くして総合的な研究によって明かにされなければならない。

文 献

- 1) Arai T., Saul J.P., Albrecht P., Hartley L.H., Lilly L.S., Cohen R.J., and Colucci W.S.; Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise, *Am. J. Physiol.*, 256, H132-H141 (1989)
- 2) Dressendorfer R.H., Amsterdam E.A., and Odland T.M.; Adolescent smoking and its effect on aerobic exercise tolerance, *Phys. Sportsmed.*, 11, 109-119

- (1983)
- 3) Edwards S.W., Glover E.D., and Schroeder K.L.; The effects of smokeless tobacco on heart rate and neuromuscular reactivity in athletes and nonathletes, *Phys. Sportsmed.*, 15, 141-147 (1987)
 - 4) Ekblom B., and Huot R.; Response to submaximal and maximal exercise at different levels of carboxyhemoglobin, *Acta Phys. Scand.*, 86, 474-482 (1972)
 - 5) Galbo H., Holst J.J., and Christensen E.H.; Glucagon and plasma catecholamine responses to graded and prolonged exercise in man, *J. Appl. Physiol.*, 38, 70-76 (1976)
 - 6) Hashizume K., Yamaji K., Kusaka Y., and Kawahara K.; Effects of abstinence from cigarette smoking on the cardiorespiratory capacity, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32, 386-391 (2000)
 - 7) Hirsch G.L., Sue D.Y., Wasserman K., Robinson T.E., and Hansen J.E.; Immediate effects of cigarette smoking on cardiorespiratory responses to exercise, *J. Appl. Physiol.*, 58, 1975-1981 (1985)
 - 8) Irving D.W., and Yamamoto T.; Cigarette smoking and cardiac output, *Brit. Heart J.*, 25, 126-132 (1963)
 - 9) Krumholz R.A., Chevalier R.B., and Ross J.C.; Changes in cardiopulmonary functions related to abstinence from smoking, *Ann. Intern. Med.*, 62, 197-207 (1964)
 - 10) Mazzeo R.S., and Marshall P.; Influence of plasma catecholamines on the lactate threshold during graded exercise, *J. Appl. Physiol.*, 67, 1319-1322 (1989)
 - 11) Niedermaier O.N., Smith M.L., Beightol L.A., Zukowska-Grojec Z., Goldstein D.S., and Eckberg D.L.; Influence of cigarette smoking on human autonomic function, *Cir.*, 88, 562-571 (1993)
 - 12) Perini R, Orizio C, Baselli G, Cerutti S, and Veicsteinas A; The influence of exercise intensity on the power spectrum of heart rate variability, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 61, 143-148 (1990)
 - 13) Rode A., Ross R., and Shephard R.J.; Smoking withdrawal program, *Arch. Env. Health.*, 24, 27-36 (1972)
 - 14) Robinson B.F., Epstein S.E., Beiser G.D., and Braunwald E.; Control of heart rate by the autonomic nervous system, *Cir. Res.*, 19, 400-411 (1966)
 - 15) 山地啓司; 喫煙にみられる運動時の呼吸・循環機能への影響, 富山大学教育学部紀要 (B理科系). No. 26, 17-23 (1978)
 - 16) 山地啓司; 心拍数の科学. 大修館書店. 1981. pp. 206-210 (1981)
 - 17) 山地啓司; 心拍の発生と調節機構, ランニング学研究, 8, 1-13 (1997)
 - 18) 山地啓司, 金子基之, 中川孝; Carboxyhemoglobin (COHb) -CO曝露・喫煙・大気汚染, 体育の科学, 28, 205-214 (1978)
 - 19) 山地啓司, 梅野克身, 塚原勝之, 川崎匡; トレッドミル走行時における心拍数変動のパワースペクトル解析, *J. J. Sports Sci.*, 12, 531-537 (1993)
 - 20) Yamamoto Y., Hughson R.L., and Peterson J.C.; Autonomic control of heart rate during exercise studied by heart rate variability spectral analysis, *J. Appl. Physiol.*, 71, 1136-1142 (1991)