

心拍数からみた潜水中の運動強度

芝 山 正 治

Underwater Physical Exercise Evaluation Based On Heart Rate

Masaharu SIBAYAMA

To evaluate physical exercise intensity during scuba diving, an electrocardiographic device which transmits electric signals to the surface was attached to the divers. The electrocardiographic waves have been recorded throughout the dive. As a result, slight accelerations of the heart rate were registered during descent and ascent, though such variations did not indicate hard exercise being performed. For beginners, the heart rate was higher (average of 141.3 beats / min), corresponding to 36.3% of the maximum oxygen consumption rate. Nevertheless, this underwater exercise would be equivalent to playing soft tennis or ping-pong. In conclusion, scuba diving is not an extenuating exercise, but for novices diving at sea requires a better physical condition.

はじめに

レジャー産業の一環としてスクーバダイビング (Scuba diving: Self-Contained Underwater Breathing Apparatus、自給器式水中呼吸装置) スポーツが一般大衆に普及するようになり、日本の潜水人口は50万人とも言われ、年間推定で2万人近くが新しく潜水教育を受けダイバーの仲間入りをしている¹⁾。

スポーツとしてのスクーバ潜水は、水中という全く異なった環境下で機材を使用して高圧空気を呼吸しながら運動を行うことから、必然的に陸上のスポーツと比較すると呼吸循環機能が異質な作用を示す。異なった環境で異なった圧力の空気を呼吸する上で興味ある現象が出現するが、根本的には運動負荷量は体重を支える必要が殆どないために酸素摂取量なども予想以上に少なく、運動そのものがオールアウトに至るような過激なものにはならない²⁾。

運動量の立場で考えるならば、海女のような息こらえ潜水と呼吸器具を用いるスクーバ潜水とは全く異なり、前者では消費エネルギー量は多大であるが、後者では軽運動負荷に属し、この点からみるとスクーバ潜水は、10歳代から60歳代過ぎまでの幅広い年

齢層が楽しむことができるスポーツであるといえる³⁾。そこで、潜水活動中の運動強度を評価する目的で、スクーバ潜水中の心電図波形を無線で船上に設置されている受信機に送信し、常時記録することにより実海域における潜水者の運動強度の負荷量を調べた。

方 法

被験者は潜水経験を有する健康な男子8名である。潜水の経験年数は、潜水講習を修了したばかりの0.3年の初心者1名 (No. 8) と2~15年の上級者7名であり、表1の身体的特徴を有する者である。

運動強度を調べるための心拍数の測定は、日本光電社製のライフスコープを用い、送信器を耐圧ケースに収納し、ダイバーに携行させ胸部誘導 (図1) にて有線でアンテナコードを海面まで導き、海面からは船上に設置されているライフスコープへ無線で送信することにより、即座に心電図波形と心拍数を測定する方法を用いた (図2)。また、サポートダイバーは被験者と共に潜水し、水深、水温、時間の記録を行った。

潜水プロフィールは、船上での安静状態①からス

表1 被験者(ダイバー)の身体的特徴

被験者	年齢 歳	身長 cm	体重 kg	潜水経験年数 年	最大心拍数 beats/min	最大酸素摂取量 ℓ/min
1	33	177	82	15	181	3.77
2	28	171	60	2	174	2.92
3	28	173	64	9	188	3.67
4	20	179	75	2	204	4.13
5	35	158	60	8	184	2.64
6	49	170	69	7	201	2.71
7	48	170	70	8	150	3.28
8	26	168	68	0.3	201	3.03
平均	33.4	170.8	68.5	6.4	185.4	3.27
±SD	10.4	6.4	7.5	4.8	17.9	0.54



図1 耐圧ケースに収納された送信器(心拍数測定器)を携行しているダイバー

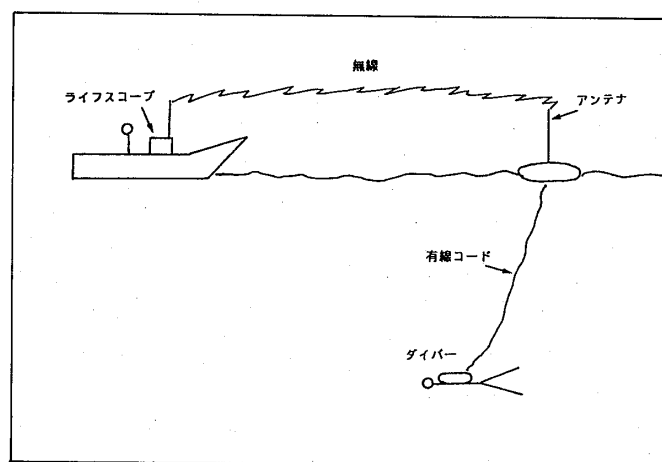


図2 潜水中のダイバーの心拍数を測定するために設定されたシステム

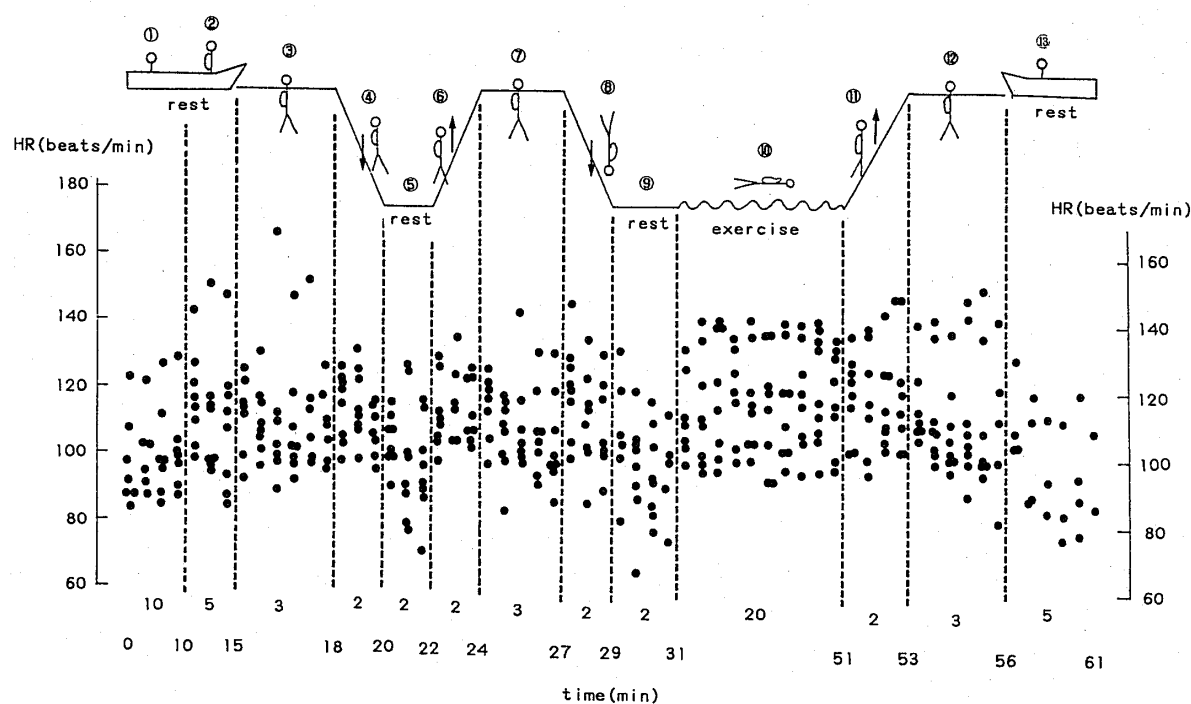


図3 潜水プロフィールと心拍数の変化(n. 8)

タートし、スクーバ器材を装着しての安静状態②、その後、海に飛び込み海面安静状態③、そして、足からの潜降④、水深20mに到着⑤した後に浮上⑥、海面安静状態⑦を保ち再び潜降⑧、この時の潜降方法は頭からの潜降とした。水深20mに到着した後は安静状態⑨を保ち、その後、遊泳⑩し、海面に浮上⑪、海面安静状態⑫後、船上にて安静状態⑬を行い終了する合計時間61分の設定とした（図3）。

また、実験室においては、猪飼ら(1971)が行ったAll out testを行い^{4,5)}、最大心拍数（HRmax）と最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_2\text{max}$ ）を求めて運動強度の評価を行った（表1）。

結 果

一連の潜水プロフィールに伴う被験者8名の心拍数をプロットしたものが図3であり、表2は被験者8名の各ブロック毎に平均心拍数である。スタート前の船上安静状態の心拍数は、平均で99拍/分①であるが、初心者（被験者8）の場合は125.3拍/分と緊張している状態を示す値であった。その後、スクーバ器材を装置する負荷が加わり平均心拍数は111.7拍/分②と上昇した。船から飛び込み海面安静状態の平均心拍数は、107.6拍/分③であるが、初心者においては141.3拍/分と他の潜水者と比較して高い心拍数であった。その後、水深20mまで潜降し、安静状態を保った時の平均心拍数は、それぞれ112拍/分④及び、101.5拍/分⑤と被験者全員が平均していた。次に海面に浮上し、海面安静状態を保った時の平均心拍数は、それぞれ115.1拍/分⑥及び108.3拍/分⑦であった。海面安静状態での初心者の心拍

数は、128.8拍/分と他の被験者よりも約10拍/分高い値であった。その後、2回目の潜降を頭から行った。この時の平均心拍数は114.2拍/分⑧であり、初心者のそれは130.3拍/分と高い値を示した。その後、水深20mでの安静状態を経て遊泳を行い、浮上するまでの平均心拍数は、それぞれ99.0⑨、115.6⑩、119.4拍/分⑪と水深20mでの遊泳時の心拍数が高い状態を示した。この間の初心者の心拍数は特に他の被験者と比べ高い状態ではなかった。最終段階の海面安静状態の平均心拍数は113.5拍/分⑫、船上までの安静状態が100.1拍/分⑬となった。全体を通しての平均心拍数は109.7拍/分であるが、海面及び海中の平均心拍数は110.5拍/分であった。

実験室で行ったAll out testで求められた最大酸素摂取量と最大心拍数の値は、表1に示した通りである。このAll out testによって求められた最大酸素摂取量に基づく最大酸素摂取率と心拍数の各被験者の回帰式を表3に示す。それぞれ相関（ r ）は0.903から0.986と高く、最大酸素摂取率と心拍数の関係が信頼できることが判断できる。この式によって求められた各ブロックでの最大酸素摂取率は表4に示した通りである。全経過における最大酸素摂取率の平均は $23.6 \pm 12.1\%$ である。平均値より負荷が高い状態は、潜降状態④⑧、浮上中の運動⑥⑪、水深20mでの遊泳中の運動⑩、海面状態⑫である。これは心拍数を基準にしているため傾向は心拍数の変動と同じである。

考 察

運動を評価する方法として心拍数を用いた研究は、

表2-1 潜水活動中の心拍数の変化

(単位：拍/分)

被験者	船上		海面 安静③	足から 潜降④	水深20m で安静⑤	浮上 海面⑥	海面で 安静⑦
	安静①	SCUBA 安静②					
1	97.3	114.3	109.7	112.3	96.0	104.3	101.4
2	95.3	98.0	99.2	105.9	91.0	111.3	101.0
3	101.0	105.3	102.2	114.3	105.0	112.7	104.0
4	91.8	93.2	98.8	103.0	81.3	103.0	100.8
5	96.2	122.4	114.5	122.7	100.0	124.0	119.0
6	98.0	106.3	95.9	110.3	119.7	126.3	113.0
7	87.2	107.0	99.2	113.0	92.0	109.3	98.0
8	125.3	147.3	141.3	115.0	117.0	130.0	128.8
平均	99.0	111.7	107.6	112.0	101.5	115.1	108.3
±SD	11.4	17.0	15.0	6.0	11.5	10.3	11.0

表2-2 潜水活動中の心拍数の変化

被験者	頭から 潜降⑧	水深20m で安静⑨	水深20m で遊泳⑩	浮上 海面⑪	海面で 安静⑫	船上 安静⑬	小計 ③~⑫		合計 ①~⑬	
							平均	±SD	平均	±SD
1	116.0	97.3	103.5	114.0	112.8	105.2	106.7	7.2	106.5	7.1
2	104.0	94.3	114.7	112.5	104.2	95.3	103.8	7.7	102.1	7.5
3	110.7	95.8	102.2	104.3	96.2	86.5	104.7	6.3	103.1	7.5
4	92.0	73.8	99.3	105.3	104.8	96.0	96.2	10.7	95.6	9.4
5	129.0	103.3	135.5	142.0	139.6	101.0	123.0	14.3	119.2	15.4
6	116.3	117.5	127.6	124.5	110.3	102.5	116.1	9.5	112.9	10.4
7	115.0	97.8	121.1	121.8	106.0	99.2	107.3	10.4	105.1	10.7
8	130.3	111.8	120.7	131.0	133.8	115.3	126.0	9.4	126.7	10.6
平均 ±SD	114.2 12.5	99.0 13.1	115.6 13.0	119.4 13.0	113.5 15.2	100.1 8.4	110.5 13.4		109.7 14.6	

表3 最大酸素摂取率と心拍数から導かれた各被験者の回帰式と相関

被験者	1次回帰式	相 関
1	$y = 0.85x - 59.36$	$r = 0.986$
2	$y = 1.06x - 85.22$	$r = 0.986$
3	$y = 0.84x - 72.57$	$r = 0.936$
4	$y = 0.55x - 41.33$	$r = 0.913$
5	$y = 0.86x - 66.91$	$r = 0.983$
6	$y = 0.74x - 73.72$	$r = 0.904$
7	$y = 0.90x - 59.33$	$r = 0.903$
8	$y = 0.91x - 92.16$	$r = 0.969$

y: 最大酸素摂取率、x: 心拍数

表4 潜水活動中の心拍数から求められた最大酸素摂取率 (単位: %)

被験者	船上						
	安静①	SCUBA 安静②	海面 安静③	足から 潜降④	水深20m で安静⑤	浮上 海面⑥	海面で 安静⑦
1	23.3	37.8	33.9	36.1	22.2	29.3	26.8
2	15.8	18.7	19.9	26.1	11.2	32.8	21.8
3	12.3	15.6	13.3	23.4	15.6	22.1	14.8
4	9.2	9.9	13.0	15.3	3.4	15.3	14.1
5	15.8	38.4	31.6	38.6	19.1	39.7	35.4
6	5.6	11.2	4.3	13.8	20.0	24.2	15.6
7	19.1	36.7	29.8	42.1	23.4	38.8	28.7
8	21.9	41.6	36.4	12.5	14.3	26.1	25.1
平均 ±SD	15.4 6.1	26.2 13.6	22.8 11.8	26.0 11.8	16.2 6.6	28.5 8.4	22.3 7.6

被験者	頭から 潜降⑧	水深20m で安静⑨	水深20m で遊泳⑩	浮上 海面⑪	海面で 安静⑫	船上 安静⑬	小計 ③~⑫		合計 ①~⑬	
							平均	±SD	平均	±SD
1	39.2	23.4	28.6	37.5	36.5	30.1	31.3	6.1	31.2	6.1
2	25.0	14.7	36.4	34.0	25.2	15.8	24.8	8.2	23.0	7.9
3	20.4	7.9	13.3	15.0	8.2	0.1	14.8	5.3	14.0	6.3
4	9.3	0.0	13.3	16.6	16.3	11.5	11.0	5.7	11.3	5.0
5	44.0	21.9	49.6	55.2	53.2	20.0	38.9	12.3	35.6	13.3
6	17.8	18.6	25.3	23.2	13.8	8.6	12.2	6.2	15.5	6.8
7	43.8	28.5	49.3	49.9	35.8	29.8	37.0	9.3	35.3	9.6
8	26.4	9.6	17.7	27.1	29.6	12.8	22.5	8.5	23.1	9.6
平均 ±SD	28.2 12.8	15.6 9.4	29.2 14.8	32.3 14.7	27.3 14.7	16.1 10.3	24.8 12.2		23.6 12.1	

宮下ら (1969)、老突きら (1976)、湯浅ら (1980)、今井ら (1980) たちによって数多く報告されており一般的に認識されている⁴⁻¹⁰⁾。また、潜水中の心拍数を測定した報告には、中山 (1966) が海女を測定し、素潜り (息こらえ潜水) においては、潜水徐脈の現象が発言することを述べている¹¹⁾。潜水徐脈における極端な例では、あざらしのような潜水は乳動物では心拍数が5~6拍/分まで低下してしまうことが知られ、この現象の原因として迷走神経制御によって生じると考えられ、アトロピン注射で徐脈を消失されることが可能である。ヒトにおける潜水徐脈の報告は、J. Mayolが伊豆沖で水深100mに息こらえ潜水をし、その時、海中下で中心静脈へ留置したカテテルから採血した血液像の分析を行い、その結果、赤血球は数倍以上に濃縮され、心拍数も34拍/分という極度の徐脈を呈した。このように息を停止して潜水を行う素潜りにおいては潜水徐脈が生じるが、スクーバ潜水では水中で呼吸をする潜水方法であるため素潜り徐脈は生じない。その報告の一つにJ. Dwyer (1983) が水深30m相当圧 (4 atm) までの高圧環境下で心拍数と酸素摂取量の変動を調べている¹²⁾。それによると水深20mまでの環境変化であれば大気圧環境下と比較して心拍数の変化はみられないと述べている。本実験の潜水深度は、最大20mと設定したため圧力環境の変化による心拍数への影響は無視できると考えられる。^{2,10,12)}。

今回行われた実験の潜水プロフィールの設定は、実際に潜水をしているスポーツダイバーの調査を行った結果に基づいて決められたものである。¹³⁻¹⁶⁾。

スクーバ潜水の運動強度を評価する方法として心拍数を指標とするやり方は、基礎となったAll out testによって求められた酸素摂取量 (表1) から最大運動を100%とする最大酸素摂取率を導き、心拍数と最大酸素摂取率の回帰式によって求められたものである。この回帰式は各被験者の相関関係 (r) が0.903~0.986と高い関係にあり (表3)、個人のデータ間で評価するのであれば信頼できると考えたからである。その結果、一連の潜水運動における最大酸素摂取率は平均して23.6%と非常に軽度の運動に属することが知れた。しかし、この運動の中には、船上での安静状態も含まれている。船上安静状態を差し引いた運動負荷量 (表4の③~⑥) は、 $24.8 \pm 12.2\%$ となる。この動作も軽度な運動に属する。各プロ

ックにおける最も高い運動動作は、水深20mで遊泳した後に浮上する運動中で32.3%を示し、前半の浮上中の運動も高く28.5%となり、1回目と2回目のそれぞれの浮上中の平均最大酸素摂取率は、 $30.4 \pm 11.7\%$ となる。続いての高い運動は、水深20mでの遊泳中の29.2%と頭からの潜降が28.2%、足からの潜降が26.0%である。また、61分間の一連の動作で被験者の平均最大酸素摂取率の中で最も高い割合を示したのは、被験者5の $35.6 \pm 13.3\%$ 、続いて被験者7の $35.1 \pm 9.6\%$ であった。初心者である被験者8は、心拍数においては被験者中最も高い値を認めたが、最大酸素摂取率においては予想よりも低く平均値に近い $23.0 \pm 9.6\%$ であった。しかし、海面安静状態で心拍数が141.3拍/分に対して最大酸素摂取率が36.3%を示していることから精神的不安感による負荷が肉体的運動量に加わっていることが³⁾知れる。

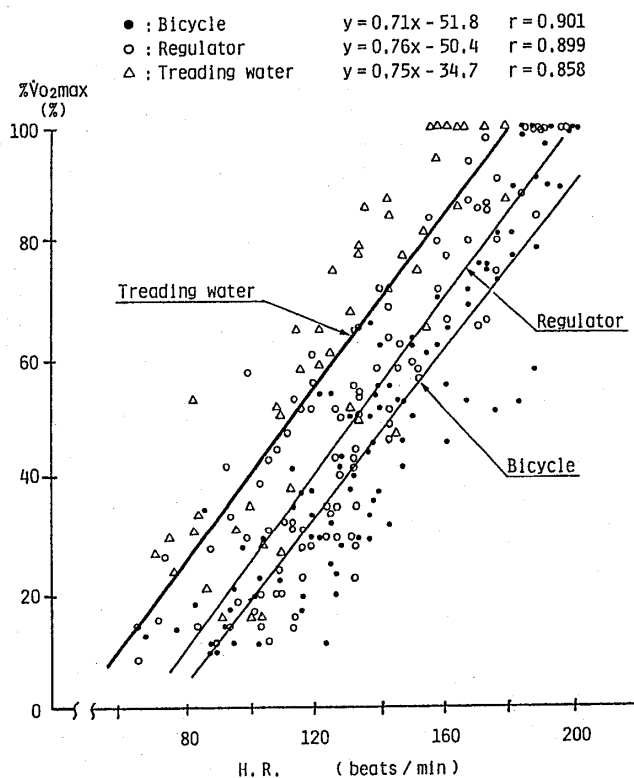


図4 スクーバ潜水用呼吸器とフィン運動の負荷量の比較
Bicycle: 標準的運動負荷
Regulator: 潜水用呼吸器を使用時の運動負荷
Treading water: 潜水器を装着時の水面遊泳運動 (フィン運動)

一連の動作の中から船上の安静状態を差し引いた最も高い最大酸素摂取率を示したのは、被験者5の $38.9 \pm 12.3\%$ であり、被験者7の $37.0 \pm 9.3\%$ がそれに続いた。スクーバ潜水の運動は、呼吸器 (レギュレーター) を介して呼吸し、足ひれ (フィン) を使い

行動する。この呼吸器とフィンの負荷は陸上での運動とは異なる負荷が水中で加わる。その負荷量は陸上運動に23%加えたものであることが調べられている(図4)³⁾。この負荷量を本実験で求められた最大酸素摂取率に当てはめてみると、全体の最大酸素摂取率23.6%に対して29.0%の負荷量になり、海面及び海中の状態(③~⑫)の24.9%に対して30.6%の最大酸素摂取率となる。また、個人においては、最も高い被験者5の38.8%に対して47.7%の負荷量となる。

心拍数から求められた平均最大酸素摂取率は、それほど高い運動とはいえないが、スクーバ潜水に伴う呼吸器とフィン運動の負荷量を加えると、ソフトテニスや卓球などのスポーツと同等な運動に匹敵する⁵⁾。しかし、中には最大運動量で50%に近づく運動を海面と海中で強制される状態となる者もまた存在する。

過去のスクーバ潜水とは、そもそも頑強な体力がある特殊な集団だけのスポーツであったが、現在は装置の技術革新が潜水をスポーツないしレジャーのレベルに普及させており、婦女子や高齢者までだれでも気楽に取り入れられるようになってきた。しかし、誤った概念や知識の不足から自分自信を過信し、指導方法の過ちを犯してしまう危険がある。スクーバ潜水を行う者は、体力に自信がある者だけではなく、スポーツを殆どしたことがない者まで参加する。これらの事柄を十分考慮にいった指導やファンダイビングを行う必要がある。

参考文献

- 1) 海中開発技術協会：'91レジャーダイビング年報「レジャーダイビング産業実態基礎調査」報告、(海中開発技術協会) p6-19 (1991)
- 2) 眞野喜洋、芝山正治：スクーバ(SCUBA)潜水とスポーツ医学、(臨床スポーツ医学) 2(4)：369-374 (1985)
- 3) 芝山正治、水野哲也、古橋廣之進：潜水に伴う労作強度の検討(日高圧医誌) 21(3)：139-145 (1986)
- 4) 猪飼道夫、山地啓司：心拍数からみた運動強度(体育の科学) 21(9)：589-593 (1971)
- 5) 今井創、山地啓司、関岡康雄：各種運動時の心

- 拍数からみた運動強化(新体育) 50(1)：72-79 (1971)
- 6) 宮下充正ら：インターバル水泳中の休息期の違いによる心拍数及びスピードの変動(体力科学) 18：1-8 7) 老月敏彦ら：心拍数と歩行・走行スピードからみた運動処理の研究資料として(体育の科学) 26(9)：680-686 (1976)
- 8) 湯浅景元ら：作業施設が最大下と最大作業中の酸素摂取量と心拍数に及ぼす効果(体育学研究) 25(1)：31-38 (1980)
- 9) Oldridge N. B., G. J. F. Heigenhauser J. R. Sutton and N. L. Jones：Resting and exercise heart rate with apnea and facial immersion in female swimmers (J. Appl. Physiol.) 45(6)：875-879 (1978)
- 10) Kanwisher J., K. Lawson and R. Strauss：Acoustic telemetry from human divers (Undersea Biomed. Res.) 1(1)：99-109 (1974)
- 11) 中山英明：潜水中の海女の心電図変化に関する研究(日内誌) 55(7)：47-57 (1966)
- 12) Dwyer J.,：Estimation of oxygen uptake from heart rate response to under sea work (Undersea Biomed. Res.) 10(2)：77-87 (1983)
- 13) 芝山正治、眞野喜洋：追い込み漁潜水作業における潜水プロフィールと労作強度(日衛誌) 44(2)：587-594 (1989)
- 14) 芝山正治、山見信夫、眞野喜洋ら：スポーツダイバーの高気圧障害に関する実態調査(日高圧医誌) 27(1)：32 (1992)
- 15) 芝山正治：潜水作業の安全と作業効率向上について(駒沢女子短期大学研究紀要) 26：1-6 (1993)
- 16) 芝山正治、古橋廣之進、眞野喜洋：SCUBA潜水に伴う耳管調圧機能(日高圧医誌) 26(2)：57-63 (1991)