様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成　２６　年　　６　月　２５　日現在

機関番号：３２６４３
研究種目：挑戦的萌芽研究
研究期間：2011～2013
課題番号：２３６５０３３２

研究課題名（和文）高齢者、障害者のスキューバダイビングにおける循環生理学的研究

研究課題名（英文）Circulatory physiological change in scuba diving

研究代表者
伊佐地　隆（Isaji, Takashi）

帝京大学・医学部・准教授

研究者番号：８０１９３２３３

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,400,000円、（間接経費）　　1,020,000円

研究成果の概要（和文）：スキューバダイビング時に心電図、心拍数、血圧、酸素飽和度がどのように変化するのかを知ることによって、ダイビングを安全に行う指標を得ることを目的として、健常者12名、障害者10名、高齢者9名を対象に、ダイビングを含む1日の測定を行った。ダイビング時と日常生活時では、心拍数、不整脈は特別な変化はなく、血圧と酸素飽和度はダイビング時に上昇した。血圧以外の変化は日常生活時の変化の範囲内であり、各群での差もなかった。ダイビングでの変化は生理学的適応現象で、年齢や性、障害の存在が制限因子となるものではなかった。

研究成果の概要（英文）：To obtain the basic data about changes of the circulatory physiological index of disabled, aged person on scuba-diving (diving), twelve sound, ten disabled, nine aged persons participated this research. After the portable Holter recorder was put on the body, electrocardiogram (ECG), blood pressure (BP), and oxygen saturation (SpO2) were recorded for approximately 24 hours containing normal daily activities, sleeping and two divings performed by wearing special dry suit for waterproofing. Each diving (20m/40 minutes) was performed by boat entry in the sea of several region in Japan.
Comparing with healthy persons, there were no specific changes for disabled persons and aged persons during diving, but both HR, BP and SpO2 increased as the usual physiological variance.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学　リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：障害者　高齢者　スキューバダイビング　循環生理学　高圧環境

１．研究開始当初の背景

日本のレクリエーションダイビング人口は、レジャー白書（1996）によれば 140 万人といわれる。障害者スポーツの中でも幅広い年齢層と多様な障害層にわたる。

リハビリテーション医学医療に携わり、特に障害者スポーツを研究テーマとして活動していたところ、受け持ちであった脳挫傷による片麻痺の方が、受傷以前に行っていたスキューバダイビング（以下、ダイビング）を再開したと聞き、その過程と実際を調べ報告した。その後自らも障害者と共にダイビングを行い、ダイビングが障害者にとって身体的、精神的に非常に良い効果のあること、障害者の健康増進、QOL の向上、社会参加、ノーマライゼーションの具現化など様々な観点で有益なことを実感した。そしてリハビリテーションの視点からももっと広く障害者や高齢者に普及する必要性を感じた。

しかし、水中の高圧環境でかつ呼吸が制限された条件で行うダイビングが、身体にどんな影響を及ぼすかについての研究がほとんどないこと、また障害者がダイビングを希望したときに、許可または制限をする根拠となる、過去のエビデンスの蓄積が大変乏しいことに気がついた。

そこで予備的検討として、ダイビング時の心拍数の変動を、日常生活時のそれと比較し、潜水時は心拍数が減少し、入水、出水時は増加するが、いずれも日常生活時の変動範囲内であることがわかった。しかし心拍のトレンドだけでは、健常者との比較や、障害者の特徴の有無を知るには不十分なこともわかった。

顧問として参画している日本バリアフリーダイビング協会（日本障害者スポーツ協会登録団体）が主催する、バリアフリーダイビング全国大会への参加者状況を調査したところ、脳卒中などによる障害や高齢者も多く参加し、幅広いニーズがあることもわかり、血圧や心臓そのものへの影響を知る必要性も感ずるようになった。

過去の研究では、高気圧環境での心拍数の研究は散見されるが、血圧、心電図、酸素飽和度のデータは少なく、どちらも障害者を対象としたものは探し得なかった。測定のための適当な機器もあり、測定ができる環境設定のアイディアもあり、人的協力体制も整ってきたため、本研究を進めることにした。

２．研究の目的

ダイビングが身体に及ぼす影響を循環生理学的に多角的に解明し、ダイビングの安全性と限界の指標を確立することを最終目標とし、まず本研究では高齢者、障害者を対象として、携帯ホルタ記録器を用いてダイビング時を含む 24 時間の血圧、心電図、心拍数、酸素飽和度の連続データをとり、ダイビング時と日常生活時とを比較することによって、ダイビングによる循環生理学的変化の有無とその特徴、異常変化によるリスクの推定などを行い、比較対照としての健常者のデータも合わせて、障害者、高齢者がダイビングを行うときの安全性の目安となる基礎データを得ることを目的とした。

３．研究の方法

(1)対象

障害者（disabled：d 群）と高齢者（aged：a 群）を対象とし、健常者（sound：s 群）を比較対照とした。d 群の障害の種類は特に限定せず、今回はスクリーニング的にいろいろな種類の障害となるよう配慮した。a 群は 65 歳以上の明らかな障害のないものとし、障害のあるものは 65 歳以上でも d 群に分類した。65 歳未満の障害のないものを s 群とした。s 群は年齢、性別、ダイビング経験にできるだけ幅を持たせるように選定した（表 1）。d 群は実人数で 11 名、そのうち 1 名（No.0203）は 2 回の測定エラーを含め 3 回の測定をし、別の 1 名（No.0202）は開始直後に体調不良で中止したため、のべ人数は 13 名で、測定できたのべ人数は 10 名である。障害の内容、移動能力などのプロフィールは表 2 に示す。a 群は 9 名で、すべて測定できた。s 群は 1 名で 1 回エラーとなったため、延べ人数 13 名で、実人数、測定できたのべ人数は 12 名であった。

対象は、ダイビング予定のある人に研究内容を説明し、日程、場所が互いに合わせられた方である。予定のある人の選定は、研究者の人脈を第一とし、協力を得ていたダイビング関係者からの連絡とポスター、チラシによる広報に対する問い合わせ者からも選定した。研究方法の性質上、すべて C カード所持者とし、研究内容が理解でき、参加への同意が文書で得られた方のみとした。

表１　対象

	male	female		failed	measurable	age	height	weight
sound	7	6	13	1	12	46.3	163.7	59.8
disabled	6	7	13	3	10	49.6	159.2	58.2
aged	7	2	9	0	9	68.1*	166.7	67.4
	20	15	35	4	31			
	* vs sound p<0.05							

表２　障害者のプロフィール

No	age	sex	disease	disability	ambulation	entry	
0201	33	M	Cerebral Palsy	Diplegia	W/C	beach	
0202	62	F	Retinal Pigmentary Dystrophy	Blind	cane	boat	failed
0203-01	56	M	Traumatic Brain Injury	Lt hemiplegia	E.W/C	boat	failed
0203-02	56	M	Traumatic Brain Injury	Lt hemiplegia	E.W/C	boat	failed
0203-03	56	M	Traumatic Brain Injury	Lt hemiplegia	E.W/C	boat	
0204	59	F	Spina Bifida, Hypertension	L5 paraplegia	Cane&AFO	beach	
0205	43	M	Traumatic Brain Injury	Triplegia HBD	W/C	boat	
0206	27	F	Spinal Muscular Atrophy type Ⅱ	Systemic weakness	E.W/C	boat	
0207	51	F	Cerebral Palsy	Athetoid	gait	boat	
0208	52	M	Spinal Cord Injury	Th12 paraplegia	W/C	boat	
0209	44	M	Muscular Dystrophy	Systemic weakness	E.W/C	boat	
0210	68	F	Cerebral Infarction, Hypertension, DM, Dyslipidemia	Rt hemiplegia	T-Cane	boat	
0211	63	F	Knee OA, Dyslipidemia	Bil.TKA	gait	boat	

(2)測定方法

携帯ホルタ記録器（フクダ電子社製FM-800）を身体に適切に装着し、2 本のダイビングを含む 24 時間の連続測定をした。測定の開始は、日帰りの場合はダイビング当日の朝装着し、翌朝外すパターンであったが、ほとんどは宿泊を伴うダイビングであったため、前日の夜装着し、ダイビング当日の夜外すパターンが大半を占めた。

ダイビング時はこちらで用意した 4 サイズの特製のドライスーツ（以下、スーツ）から適当なサイズのものを着用して、記録器の防水を図った。

測定指標は心電図から得られる心拍数（HR)、心電図波形から得られる不整脈、血圧（BP)、経皮酸素飽和度（SpO_2）である。心電図とそれに伴う HR、そして SpO_2 は無条件で連続記録されるが、BP は最低間隔 2 分、最大回数 120 回／24 時間という条件があるため、装着前に 24 時間の予定を決めておき、2 本の測定ダイビング周辺の 60-70 分間は 2 分毎、1 本目と 2 本目の休憩時間は 15 分毎、夜間就寝予定の時間帯は 2 時間毎、その他の時間は 30 分毎にあらかじめ設定した。心電図、BP、HR、SpO_2 は同時に測定でき、データは専用の記憶媒体に集積保存し、それを専用の解析ソフトを用いて分析した。

(3)ダイビング

ダイビングは可能な限りボートエントリーとし、強い衝撃を避けるようにして入水、出水した。ダイビングプロフィールは、前半の 20 分でできるだけ等時間間隔に 5m、10ｍ、15ｍ、20ｍと深度をとり、それぞれの深度で 2 回の血圧が測定されるようにし、後半その反対に徐々に浮上してもらった。ダイビングプロフィールは被験者につけたダイビングコンピュータの記録を用いた。1 本目の出水後は船上（または海岸、または宿）で 1 時間以上の十分な休憩を取り、2 本目も同様に行った。1 人で深度調整できる方には自分で行ってもらったが、介助の必要な方には、研究についてあらかじめ説明し十分理解できているガイドインストラクターが付ききりで行った。特に、血圧測定のためにスーツ内に適当な空気が必要であるため、浮力との調整は、ガイドはもちろんのこと一緒に潜った研究者も共同で対応した。BP 測定中はできるだけ静止する必要があるため、ダイビングそのものは通常のダイビングに比べて動きの少ないものであった。

ダイビングまたドライスーツが初めての方には、測定ダイビングの前に、ドライ講習と短時間のドライ慣れダイビングを行うようにした。

スーツの着脱は、グラブ付きのスーツであること、測定機器が各部に取り付けられていることから、介助の必要な障害者をはじめ、通常は自分でできる方でも介助で行うことがほとんどであった。

(4)日常生活

ダイビング以外の日常生活は、水濡れだけ注意し入浴しないこと以外は特に何も制限せず、いつものダイビング旅行時と同じように過ごしてもらった。24 時間の生活記録を用紙に記入してもらった。

(5)データ解析

専用の解析ソフト（SCM-6600）を用いて標準的な解析結果報告書を作成し、それを分析した。心電図データからの最大、最小 HR と平均 HR 、不整脈があればその詳細解析、BP の最大、最小、SpO_2 の最大、最小を各群で比較し、それぞれの最大、最小の出現時の分布を比較した。

BP は Korotokoff 音法と Oscillometric 法で測定されたが、両方の測定値が得られているポイントのみを採用し、代表値としては Oscillometric 法の値を採用した。

さらに男性健常者（インストラクター）3 名、健常女性 1 名、障害者 2 名を選択して、記録生データから、すべての RR 間隔時間（msec）を 15 秒毎の値に換算した HR（bpm）値、すべての BP 計測値、1 秒毎に記録される SpO_2 値を用いて、ダイビング時の潜水中、入水時、出水時、ダイビング以外の日中生活時、睡眠時の記録をまとめ、それぞれを比較した。また潜水深度、潜水時間経過と各指標の関係も分析した。

統計処理は、平均値の比較は t 検定、分布差は χ^2 検定、相関は Pearson 相関係数を用い、有意水準は 5%未満とした。

なおこの研究はヘルシンキ宣言に基づいた研究計画書をもって所属機関の倫理委員会の承認を得ており、同時に添付した説明文書を使用して対象者に説明し、文書での同意を得て行った。また使用した機器類のメーカーなどとの利益相反はない。

４．研究成果

(1)測定指標の最大値・最小値

健常者群（s 群)、障害者（d 群)、高齢者（a 群）の HR と BP の結果を表 3 に示す。s 群と a 群の最大 HR に有意差がある（a 群が少ない）以外は、すべて有意差はなかった。SpO_2 は、最大値はほぼ全例 100％であり、最小値はエラー値が多く有効な値と認められないため割愛した。

表 3　心拍数と血圧の最大値・最小値

	HR			BP(Korotokof)				BP(Oscillometric)			
				systric		diastric		systric		diastric	
	max	min	mean	max	min	max	min	max	min	max	min
sound	138.7	53.8	81.3	238.7	93.4	123.2	43.7	215.2	95.2	121.1	53.1
disabled	141.6	57.4	85.1	223.2	103.0	138.6	49.7	207.7	106.8	133.1	59.9
aged	121.2*	50.8	73.4	244.1	99.0	143.2	53.6	226.6	104.3	142.0	60.0

HR:Heart Rate　BP:Blood Pressure　SpO_2:Oxygen Saturation

* vs sound $p<0.05$

(2)不整脈
心室性期外収縮（PVC）と上室性期外収縮(SVPC)の拍数を表4に示す。両不整脈とも、全体を通してみた場合、ダイビング時のみでみた場合いずれもd群、a群の方が多い傾向だが、個人差が大きく幅があり、有意差があったのはs群とa群のダイビング時の上室性期外収縮（a群が多い）のみであった。いずれの群でもダイビング時に他の日常時よりも増えるという現象はみられなかった。

表4　不整脈の出現程度：測定全体とダイビング時

		PVC			SVPC		
		mean	±STDEV	range	mean	±STDEV	range
	sound	21.0	±58.7	0-206	16.5	±18.9	1-67
	disabled	90.0	±247.8	0-794	101.8	±275.1	0-884
	aged	26.6	±34.8	0-88	178.2	±341.3	26-1083
during SD	sound	2.3	±6.3	0-22	3.5	±4.9	0-13
	disabled	16.4	±44.9	0-144	18.5	±51.9	0-166
	aged	4.2	±6.8	0-21	12.3	±9.7*	2-24
		SD:Scubadiving		* vs sound　p<0.05			

(3)最大値・最小値の出現場面
各指標の最大値・最小値がどの場面で出現したかをみた結果を表5に示す。HRの最大値は日中活動時に、最小値は睡眠時に、BPの最大値はダイビング時に、最小値は日中活動時または睡眠時に、SpO_2の最大値はダイビング時に、最小値はダイビング時または日中活動時にみられた。いずれも群による分布差を認めなかった。

表5　最大値・最小値の出現場面の分布

	HR				Systoric BP (Oscillometric)				SpO_2			
Maximum	SD	D	S		SD	D	S		SD	D	S	
sound	0	12	0	12	10	2	0	12	11	5	1	17
disabled	2	8	0	10	5	5	0	10	8	5	0	12
aged	1	8	0	9	8	1	0	9	9	0	0	9
	3	28	0	31	23	8	0	31	28	10	1	38
Minimum	SD	D	S		SD	D	S		SD	D	S	
sound	0	3	9	12	0	8	4	12	6	6	1	13
disabled	0	1	9	10	0	4	6	10	5	6	3	14
aged	0	3	6	9	0	2	7	9	2	6	1	9
	0	7	24	31	0	14	17	31	13	18	5	36

SD:Scubadiving　D:Day time　S:Sleeping

(4)詳細解析結果
性、障害の有無に関わらず、各指標とも平均値はダイビング時＞日中活動時＞睡眠時の順になった。さらにHRは入水、出水時に上昇し、水中での抑制は明らかなものはなく、体動に影響されていた。
潜水時間による各指標の変化に明らかな傾向はなかったが、潜水深度との関係では、HRとBPとは負の相関を、SpO_2とは正の相関を認めた（図1）。

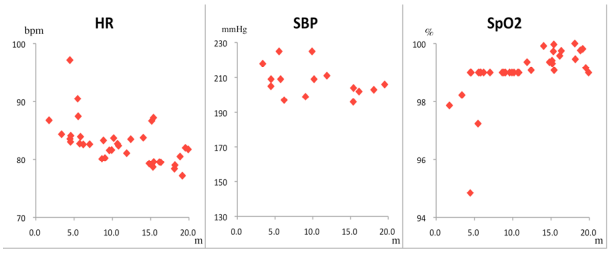

図1　各指標と深度との関係

また1例の対麻痺者で、ダイビング中に上昇したSpO_2がダイビング後もしばらく持続するという特徴的現象がみられた（図2）。

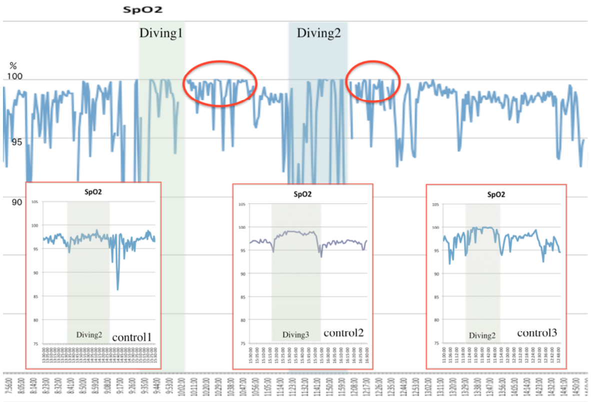

図2　SpO_2の変化

以上(1)～(4)の結果より、ダイビングによる変化として以下のことが判明した。
①HR、BP、SpO_2とも上昇する。
②HRは平均値では上昇するが最大値、最小値は他の時間で出現するのでその範囲内に納まる。
③不整脈は個人要因が大きいがダイビングにより増えることはない。
④BPはダイビングによりかなり上昇するが、身体活動に伴うものであり、通常の陸上運動時の上昇と同じ生理学定反応と、水圧等によるダイビング特有の影響の両方が考えられる。
⑤SpO_2はダイビング時に上昇し、出水ともに速やかに戻るが、対麻痺例で高いまま持続したことから、血中ガスの動態の指標となり得る。
⑥これらの変化は、年齢や性、障害の有無に関係しないものであるため、障害があること、高齢であることだけではダイビングの制限要因にはならない。
今後は選択して行った詳細解析を全例に行い、定量的解析をすすめてダイビングによる変化をより詳細に考察していく。

５．主な発表論文等
（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計　９件）
1）伊佐地 隆、 山本昌義、 原 元彦：スキューバダイビングにおける循環生理学的指

標の変化-脊損1例での予備的検討-. 日本脊髄障害医学会雑誌、査読有、Vol.27、2014、24-30
2) 佐々木千穂、境 信哉、星有理香、髙田政夫、森本誠司、野尻明子、坂本淑江、伊佐地隆：脊髄性筋萎縮症I型児に対するコミュニケーション支援の 1 経験. 保健科学研究誌、査読有、No.11、2014、81-90
3) 伊佐地 隆、佐々木千穂：スキューバダイビング時の循環生理学的指標の変化–潜水深度、潜水時間との関係–. 日本高気圧環境・潜水医学会雑誌、査読無、Vol.48、2013、288
4) 佐々木千穂、伊佐地 隆：スキューバダイビング時の循環生理学的指標の変化-健常女性の 1 例-. 日本高気圧環境・潜水医学会雑誌、査読無、Vol.48、2013、287
5) Isaji T, Sasaki C: Circulatory physiological change in scuba diving -Comparison between scuba diving and daily living-. THE 4TH CONFERENCE ON DIVING PHYSIOLOGY, TECHNOLOGY AND HYPERBARIC MEDICINE、査読有、2013：13-14
6) 大賀 優、伊佐地 隆、河野 豊、三木 保：頭部外傷を主たる原因傷病とする高次脳機能障害に対する支援体制の構築：茨城県下での取り組みの現況. 神経外傷、査読有、Vol.35、2012：130-134
7) 鶴見一恵、伊佐地 隆、大仲功一：頚髄損傷患者の自宅退院に影響する因子の多面的分析. リハビリテーション医学、Vol.49、2012、726-733
8) 佐々木千穂：高次脳機能障害者の社会参加支援. 熊本大学社会文化科学研究科 博士論文、査読有、2012
9) 伊佐地 隆、佐々木千穂、新井雅人、錦織秀治、西谷雅治、森 泰憲、山田眞佐喜、山本昌義、栢森良二：スキューバダイビング時の循環生理学的指標の変化-予備的測定-. 日本高気圧環境・潜水医学会雑誌、査読無、Vol.47、No.4、2012、213、

〔学会発表〕（計 9件）
1) 伊佐地 隆、佐々木千穂、山本昌義、原 元彦、栢森良二、大西康史：スキューバダイビングにおける循環生理学的指標の変化-脳卒中例での検討-. 第51回日本リハビリテーション医学会(名古屋)、2014.6.5-7
2) Chiho Sasaki, Takashi Isaji, Masayoshi Yamamoto, Yuji Honda: Circulatory physiological change in scuba diving-Preliminary report: effect of deep breathing-. 8th ISPRM(Cancun), 2014.6.1-5
3) Takashi Isaji, Chiho Sasaki, Masayoshi Yamamoto, Yuji Honda: Circulatory physiological change in scuba diving-Preliminary report: analysis of an aged hemiplegic diver-. 8th ISPRM(Cancun), 2014.6.1-5
4) 伊佐地 隆、山本昌義、原 元彦：スキューバダイビングにおける循環生理学的指標の変化-脊損例での検討-. 第 48 回日本脊髄障害医学会(福岡)、2013.11.14-15
5) 伊佐地 隆、佐々木千穂：スキューバダイビング時の循環生理学的指標の変化–潜水深度、潜水時間との関係–. 第48回日本高気圧環境・潜水医学会(東京)、2013.11.8-9
6) 佐々木千穂、伊佐地 隆：スキューバダイビング時の循環生理学的指標の変化-健常女性の1例-. 第48回日本高気圧環境・潜水医学会(東京)、2013.11.8-9
7) 伊佐地 隆、佐々木千穂、山本昌義、栢森良二、原 元彦：スキューバダイビングにおける循環生理学的指標の変化-健常者での検討-. 第50回日本リハビリテーション医学会(東京)、2013.6.13-15
8) 伊佐地 隆、佐々木千穂、新井雅人、錦織秀治、西谷雅治、森 泰憲、山田眞佐喜、山本昌義、栢森良二：スキューバダイビング時の循環生理学的指標の変化-予備的測定-第47回日本高気圧環境・潜水医学会(札幌)、2012.11.16-17
9) Isaji T, Sasaki C: Circulatory physiological change in scuba diving -Comparison between scuba diving and daily living-. The 4th Conference on Diving Physiology, Technology and Hyperbaric Medicine(Tokyo), 2012.11.1-2

〔図書〕（計 2件）
1) 伊佐地 隆、他（著） 日本リハビリテーション医学会 障害者の体力評価ガイドライン策定委員会（編）：障害者の体力評価ガイドライン-脳血管障害・脊髄損傷-. 2013.6.17、金原出版
2) 伊佐地 隆：評価法編 体力. 伊藤利之、江藤文夫、木村彰男（編）：今日のリハビリテーション指針. 2013.4、医学書院

〔産業財産権〕
○出願状況（計 0件）

○取得状況（計 0件）

〔その他〕
なし

６．研究組織
(1)研究代表者
伊佐地 隆（帝京大学・医学部・准教授）
研究者番号：80193233

(2)研究分担者
佐々木 千穂（熊本保健科学大学・保健科学部・講師）
研究者番号：30569603

(3)連携研究者
なし