

表 6 主観的幸福度及び主観的疼痛度への影響

項目	グループI (19名)			グループII (14名)			Greenhouse-Geisser <i>p</i> value
	ベースライン	3ヶ月介入後	観察1年後	ベースライン	6ヶ月介入後	観察1年後	
主観的幸福度* (%)	68.7 ± 11.8	71.0 ± 16.0	67.5 ± 18.8	68.1 ± 17.3	69.8 ± 17.2	68.5 ± 18.0	>0.05
膝痛 (%) †	17.2 ± 19.8	16.6 ± 25.6	15.6 ± 16.9	23.3 ± 21.1	24.0 ± 25.7	21.2 ± 17.9	>0.05
腰痛 (%) †	23.5 ± 28.4	14.2 ± 21.5	20.5 ± 27.3	26.2 ± 20.1	17.7 ± 19.2	17.7 ± 17.1	0.025

mean ± SD. * 100%は最大の幸福で、0%は最大の不幸。

†100%は最高の痛みで、0%は全く痛みなし。

膝・腰痛 (VAS) は平方根に変換してから検定を行った。

表7 精神心理状態と望ましい生活習慣

項目	グループI (19名)			グループII (14名)			Greenhouse-Geisser <i>p</i> value
	ベースライン	3ヶ月介入後	観察1年後	ベースライン	6ヶ月介入後	観察1年後	
POMS (T スコア)							
- 緊張	45.3 ± 6.3	43.2 ± 6.0	47.2 ± 6.9	44.3 ± 5.3	44.9 ± 4.6	43.5 ± 7.7	>0.05
- 抑うつ	46.3 ± 6.1	46.0 ± 5.1	49.8 ± 8.9	47.4 ± 4.6	46.1 ± 5.0	45.6 ± 5.5	>0.05
- 怒り	45.1 ± 6.6	44.3 ± 5.5	46.6 ± 6.2	46.3 ± 5.1	44.4 ± 4.0	44.2 ± 5.5	>0.05
- 活気	52.3 ± 10.5	54.1 ± 8.1	52.7 ± 10.5	55.4 ± 6.3	60.3 ± 8.3	57.8 ± 8.7	0.047
- 疲労	44.2 ± 6.0	43.5 ± 5.8	47.9 ± 7.6	45.2 ± 8.3	42.6 ± 5.0	42.7 ± 4.8	0.035
- 混乱	45.9 ± 7.5	45.2 ± 5.8	49.5 ± 7.8	47.3 ± 6.8	45.4 ± 5.9	46.2 ± 4.6	>0.05
自己評価式 抑うつ尺度 (点)	31.8 ± 7.5	29.8 ± 5.6	32.1 ± 6.3	32.1 ± 6.3	29.7 ± 6.4	27.9 ± 6.1	0.045
望ましい生活習慣 (no)	4.1 ± 2.1	4.8 ± 2.9	4.7 ± 2.4	4.7 ± 2.7	5.5 ± 2.6	5.2 ± 2.9	>0.05

数値は,上段は平均値,下段がSD.

厚生労働科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）
分担研究年度終了報告書

温泉利用と生活・運動指導を組み合わせた総合的健康教育に関する実証的研究：
介入2年後のフォローアップ結果

分担研究者 矢崎 俊樹（財）日本健康開発財団 主席研究員
研究協力者 上馬場 和夫、許 鳳浩、櫻田 惣太郎、滝上 節子
高島 寧子（富山県国際健康プラザ）
上岡 洋晴（東京農業大学地域環境科学部）

研究要旨

総合的温泉療法の具体的な指導方法に関して実証的に検討した。2003年12月から3カ月間、89名の女性（40-65歳、重篤な疾病を持たない）をランダムに割付けし、総合的な温泉療法（ライフスタイル指導、運動、温泉入浴プログラム：運動＋温泉群）を行った群と、運動のみの群、対照の無実践群の3種類の介入を行い、前後で健康度の変化を比較した。運動＋温泉群で総合的な健康増進効果が得られ、運動のみ群よりも、特に血清脂質の改善効果が有意に高いものであった。

しかし、介入後の時間経過によって、健康度の変化は温泉療法前に復すものであり、上岡らの研究のように、1年間の有効性には、3ヶ月間では不足し6カ月間の温泉療法が必要であることが示されている。今回の研究では、3カ月間の総合的な温泉療法と指導の後、途中の干渉なしに、2年後に経過を観察して健康づくり活動の継続と健康度の変化について調査することで、総合的な温泉療法の指導法を考察した。

研究方法は、同じ季節（冬12月）に同じ検査機関（富山県健康増進センター：血液検査、富山県国際健康プラザ：生理学的検査）にて、各群28名の中で、2年後の経過観察を受けることを文書により承諾した対照群（17/28名）、運動のみ群（22/28名）、運動＋温泉入浴群（26/28名）に、2年前と同じ検査と問診表の記載を行わせた。

その結果、被験者の35%程度しか、健康づくりを継続しておらず、同じ施設に2年後まで通所している例は、運動＋温泉群で3名（11%）、運動のみ群で1名（4%）であった。これら健康づくりを継続している群は、最初の3カ月間の介入では改善しなかった検査値も改善を認めた。しかし、2年後においても、運動＋温泉群では血清脂質が、運動のみ群では最大酸素摂取量が改善を持続していた。また血圧値については、両群で改善を持続していた。これは、健康指導が奏功し、通所しなくても健康的な生活様式を継続したためと推定される。ただ、本研究の被験者の健康への意識が、上岡らの既報と異なることが推定され、今後多くの種類の対象母集団に対する研究が必要と思われた。

キーワード：総合的温泉療法、無作為比較試験、中高年女性、2年後の経過

A. 研究目的

中高年女性を対象とした温泉利用と生活・運動指導（総合的な温泉療法）に関する無作為比

較試験¹⁾の2年後追跡結果について調査することで、温泉利用と生活・運動指導の方法に関する知見を得ることを目的とした。

具体的には、3カ月間の総合的な温泉療法の後、途中の干渉なしに2年後における健康づくり活動と健康度の変化を、同じ季節（冬12月）に、同じ検査機関（富山県健康増進センターにおいて調査することで、持続効果を評価した。

B. 研究方法

1) 対象者：平成15年当時40-65歳までの近隣住民の女性（温泉を活用した健康づくりをしていない未体験者で、平成15年度において医療を受けていない者）で、温泉利用と生活・運動指導に関する無作為比較試験に3ヶ月間参加できた者84名（59±8歳）を対象として、2年後における再検査を、文書と電話により依頼した。なお、近隣女性の多くは食生活改善協会の会員であり、参加被験者84名のうち70名（83%）が食生活改善協会会員であった。

2) 群別：①運動・生活指導群（運動のみ群と呼ぶ）：富山県国際健康プラザ総合指導コースを3ヶ月間体験し、その間、生活指導10回と週2回60分間の運動プログラムのみを受けた女性28名の中で、22名（60±7歳）が参加した。②運動・生活指導+温泉入浴群（運動+温泉群と呼ぶ）：富山県国際健康プラザ総合指導コースを3ヶ月間体験し、その間、生活指導10回と週2回30分間の運動プログラムと温水プールでの水中運動か水中歩行を30分間、種々の温泉への入浴を30分間からなるプログラムを行った女性28名の内26名（62±5歳）が参加した。③対照群：富山県国際健康プラザ総合指導コースは受けない群で、通常の生活を3ヶ月間行った女性28名の内では17名（59±7歳）が参加した。

3) 実施期間：平成15年度の実験は、平成15年12月～平成16年3月まで3ヶ月間で行われた。2年後のフォローアップは、それに合わせて平成17年12月に行った。その間の研究と被験者の流れを、表1に示す。

5) 評価項目：温泉利用と生活・運動指導を組み合わせた総合的健康教育の介入前後での被験者の検査内容は、平成15年度と同じ内容とし、以下のA)からE)までの5領域とした。

A) 医学面：身体計測（BMI, %FAT）と共に、尿・血液生化学検査、血清脂質検査、尿糖、尿蛋白、GOT, GPT, BUN, TC, TG, HDL-C, Atherogenic Index = 動脈硬化指数 = (TC-HDL)/HDL、血圧を測定する。問診では、生活習慣病の有無や程度についての質問。

B) 運動面：問診での運動量や活動量の推定、体力測定としての運動負荷試験。

C) 食事内容・食習慣調査：摂取栄養素や摂取カロリーの推定、食習慣についての質問表。

D) 休養面：休養状態や休養習慣の評価。

E) 心理面：POMSにより不安・緊張、怒り・敵意、抑鬱、活力、混乱、疲労を計量心理学的に評価。また、SDS（自己評価抑鬱度）も使用した。

6) 倫理的配慮：本研究は、平成15年に行われた身体教育研究所倫理委員会と富山県国際伝統医学センターの双方の承認あるいは報告の下に行われ、平成15年度の段階から、十分な説明の後に文書による同意を取得して行われた。

7) 統計解析：ノンパラメトリックな指数に関しては、前、3ヶ月後、2年後の群内での変化をWilcoxon signed rank testにより検定し、パラメトリックな数値についてはpaired-t-testにより検定した。2年後までの群間の差は、対応のあるtwo-way ANOVAによりおこなった。いづれも有意水準は0.05とした。

C. 研究結果

1) 参加被験者のプロフィール（表2）

対照群28例中17名、運動のみ群28名中22名、運動+温泉群28例中26例が、2年後の経過観察を受けた。これら3群の参加者の年齢、

BMI、体脂肪率、血圧、心拍数などのプロフィール(表2)では、群間に有意な差がなかった。

運動のみ群のうち1名、運動+温泉群の3名は、2年間継続的に毎週1-2回程度、富山県国際健康プラザへの通所を継続しており、それら4名(継続群)の数値についても示した。また、健康づくりを家庭においても継続していると解答した例は、運動のみ群8/22例(36%)、運動+温泉群9/26例(35%)であった。

2) 体重や体脂肪率の変化(表3)

体重、肥満度、体脂肪率、BMIについては、運動のみ群、運動+温泉群、継続群において、前値と比較して、介入直後に有意に低下した後、2年後においても有意な低下を維持していた(表3: $p < 0.05, 0.01, \text{paired-}t\text{-test}$)。継続群の4名では、介入直後には有意な差がなかったが、2年後には有意な低下を認めた。

3) 血圧や最大酸素摂取量の変化(表4)

運動のみ群、運動+温泉群ともに、最高血圧の介入直後における有意な低下が、2年後にも持続した($p < 0.01, 0.05, \text{paired-}t\text{-test}$)。しかし、最低血圧では有意な変化でなく、介入直後の低下傾向を認めるのみであった。また、2年間継続群では、2年後に最高血圧のみ、低下傾向を認めた。対照群では変化を認めなかった。また、心拍数は、運動のみ群と運動+温泉群のみにおいて、介入直後だけ、有意に低下した($p < 0.01, \text{paired-}t\text{-test}$)。2年後には前値に復した。

最大酸素摂取量は、運動のみ群において介入直後だけでなく2年後にも有意な増加を維持していた($p < 0.01, \text{paired-}t\text{-test}$)、しかし、運動+温泉群では、介入直後のみにおいて有意な上昇を認めただけであり、2年後には前値に復していた。2年継続群では、2年後には上昇傾向を示したのみであった(表4)。

4) 血清脂質濃度の変化(表5)

運動+温泉群でのみ、介入直後における TG

の有意な低下と、運動のみ群との間の変動の有意な差を認めた($p < 0.05$, 対応のある two-way ANOVA)。しかし、2年後には前値に復した。ただ、HDL-C と AI(atherogenic index:動脈硬化指数 = $(\text{TC}-\text{HDL}-\text{C})/\text{HDL}-\text{C}$)については、運動+温泉群のみにおいて2年後でも、有意な上昇を認めている($p < 0.01, \text{paired-}t\text{-test}$)。

5) 肝機能検査値の変化(表6)

肝機能検査値である GOT、GPT については差がなかったが、 γ GTP 値は、運動+温泉群と2年間継続群において有意な低下を示した($p < 0.05, \text{paired-}t\text{-test}$, 表6)。

6) 運動能力の変化(表7)

長座位体前屈は、運動のみ群、運動+温泉群の双方において、介入直後から2年後まで、持続的に向上していた。全身反応時間については、運動のみ群で、介入直後に有意に短縮したが、運動+温泉群ではむしろ延長を認めた。閉眼片足立ちについては、対照群以外では、同じ傾向を示したが、有意なものではなかった(表7)。

7) 糖代謝パラメータの変化(表8)

空腹時血糖値は、運動のみ群、運動+温泉群対照群の間では、介入による平均値での差を認めなかった。しかし、2年間継続群では、2年後の時点で有意に減少を示した($p < 0.05, \text{paired-}t\text{-test}$)。ただ、HbA1c は特に有意な変化は示さなかった(表8)。

8) 心理的变化(表9)

運動+温泉群、運動のみ群において、介入直後だけは、有意に変動した項目を認めた($p < 0.05, \text{Wilcoxon signed rank test}$)。しかし、2年後には前値に復した。2年間継続群でも有意な変動は認めなかった。

9) 食習慣や推定総活動量の変化(表10、図1)

3群において問診から得られた食習慣の変化として、運動+温泉群において、大豆食品の

摂取量が有意に増加した ($p < 0.05$, Wilcoxon's signed ranks test)。しかし、他の群では有意な変化は認められなかった (表 10)。

また、歩行時間や歩数を記載させて総運動量を推定した結果では、むしろ対照群で2年後の総活動量が増加していたが、他の群では、2年後には平均値で低下を認めた (図 1)。

結果のまとめ

①対照群以外の参加者の 35%程度が健康づくりに留意していたが、同じ施設に2年後まで通っている人は、運動+温泉群で3名 (11%)、運動のみ群で1名 (4%) であった。2年後における推定総活動量の変化は、いずれの群でも認めなかった。

②食事内容において、運動+温泉群のみで、大豆製品の消費量が2年後において有意な摂取量の増加を認めた。

③体重や体脂肪率、BMI は、運動のみ群、運動+温泉群、2年間継続群で、3ヶ月間の介入中から2年後まで改善 (低下) が持続した。最高血圧も運動のみ群と運動+温泉群では、介入直後からの改善が2年後まで持続した。

④最大酸素摂取量は、運動のみ群と運動+温泉群の双方で介入直後における有意な増加を認めたが、運動のみ群においてだけ、2年後まで持続して増加を認めた。

⑤血清脂質の変化の中で、中性脂肪 (TG) は、運動+温泉群においてのみ、介入直後の低下を認めたが、2年後においては前値に復した。しかし、HDL-C については、2年後の方が改善し、運動+温泉群においてのみ有意に高値となっていた。同じ群では、HDL-C と TC 値から計算で求める AI (動脈硬化指数) 値も有意に改善した。

⑥肝機能検査値において、 γ -GTP が、運動+温泉群、2年間継続群において有意な改善を認めた。

⑦血糖値は2年間継続群においてのみ、2年後で改善を認めている。

⑧心理検査では、どの群においても2年後には前値に復す傾向となった。

D. 考察

今回の研究では、運動のみ群、運動+温泉群、対照群に加え、2年間継続通所群の4群で、2年後の検査結果を比較した。それにより、3カ月間の総合的な温泉療法 (温泉利用と生活・運動指導) の効果持続を考察し、総合的な温泉療法の指導期間などに関する知見を得ることを目的とした。

健康パークに通所を継続する人数は、運動のみ群では、1/22 名 (5%)、運動+温泉群では3/26 (11%) と少ないものであった。これは、参加者の意欲も関係はあるが、健康パークへの公共交通の便が一日4便しかないというアクセスの悪さも原因していることが推定される。3ヶ月の介入の後に、家庭での健康的な習慣に留意しているという被験者が、運動のみ群で8/22 例 (36%)、運動+温泉群では、9/26 例 (35%) であったことと、被験者の83%が、食生活改善普及協会に参加している主婦であったことから、被験者の健康への意識は高いことが考えられたからである。

また、上岡らの長野県御牧村の研究結果^{2,3,4)}では、3ヶ月でなく6ヶ月間の介入により1年間の持続的な健康維持効果が得られたと報告されている。今回の結果と若干矛盾する結果であるが、今回の被験者に、食事や健康への高い意識を持つ食生活改善協会会員が多く含まれていたことからすると、効果が長期的に持続することは十分に推定できるため、地域住民の全数調査に近い上岡らの研究結果と単純には比較できないであろう。

また、2年後の健康診断の結果に対しては、2年前に行った3カ月間の温泉療法の介入よりも、その時に受けた健康教育の影響や、試験に参加したという意識が持続することで、被験者が健康的なライフスタイルに留意しつづけた可能性が大きく関与したことが推定される。

しかし、運動+温泉群では、HDL-C が2年後まで改善し、運動のみ群では、最大酸素摂取量の上昇が2年後まで認められながら、運動のみ群ではHDL-Cの改善はなく、運動+温泉群では、最大酸素摂取量の増加が持続していなかった。これは、それぞれの群に特異的な持続的影響が

存在したことが推定される。その一つとして、3カ月間の介入の間に体で覚えた習慣が影響した可能性が考えられる。つまり、運動のみ群では、運動習慣が、運動+温泉群では、食生活習慣が影響したことが推定される。ちなみに、生活指導は、運動のみ群でも運動+温泉群でも、3カ月間の介入中の生活指導の内容は同じものであり、以下のような日程で行っていた。

聴講対象者：運動のみ群、運動+温泉群

講義時間：1時間～1時間半

実施期間：平成15年12月～平成16年3月

講義内容：

1. オリエンテーションと前測定
2. 栄養講座（正しい栄養の取り方）
3. 温泉の効果と入浴方法
4. 温泉入浴、水中運動、浮遊浴
5. 生活習慣と健康のツボ
6. 医学講座（生活習慣病講義）
7. 調理実習（調理の体験）
8. 運動講座（正しい運動の取り方）
9. 休養講座（正しい休養の取り方）
10. 後の効果測定とそのまとめ

本来健康づくりは、数カ月間持続すれば、後は大丈夫という性質のものではなく、一生継続するものでなくてはならない。それにより、異常な検査値も改善しつつあることが推定される。実際、今回4名だけではあったが、2年間継続的に通所した群では、3カ月間では改善を見なかった血糖値、肝機能検査値（ γ -GTP）、血圧値、体重と体脂肪値などが改善あるいは改善傾向を認めている。江夏らの鳥取県における報告においても、7年間のBMIの変化を解析した場合、長く通所すればするほどBMIの減少を見ている⁹⁾。

このように、継続的に健康づくりをすることが、健康度を上昇させることは明かであるが、健康への意識が高い例では、最低3カ月間の健康指導と温泉療法の体験によっても、その後2年間持続する部分的な効果を得ることができると、今回の結果から示唆された。ただし、

それは部分的な効果であり、3カ月間の生理・生化学的效果が、直接持続するというよりも、3カ月間で学ぶ健康指導や健康増進的生活習慣法が、被験者の生活習慣を変え続けることで、総合的な温泉療法の健康増進効果が持続することが示された。今後、母集団を変えてさらに研究する必要性が支持された。

E. 結論

- ① 3ヶ月間の健康教育を行った後2年後においても、部分的ではあるが、健康増進効果の持続が認められた。
- ② これは、3ヶ月間の温泉療法自体の肉体的効果が2年間持続したというより、生活習慣の変化が影響したためと推定される。つまり、運動のみ群では、運動習慣が、運動+温泉群では、食事の習慣の変化（大豆摂取量の増加）が継続したためと推定される。
- ③ 今回の対象者が健康や食事への意識が高い例であったことが、2年間効果が持続した要因と推定される。特に2年後までの経過観察が可能であった群は、健康への意識も高いことが推定され、そのバイアスが今回のフォローアップの結果に影響していると推定される。
- ④ 今後、質の異なる母集団を対象にした研究が期待された。

【参考文献】

- 1) 上馬場和夫、許 鳳浩、矢崎 俊樹、上岡洋晴：総合的な温泉療法の健康増進効果に関する検討，日本温泉気候物理医学会誌 2005；69(2)：128-138.
- 2) 上岡洋晴、中村好一、矢崎俊樹、上馬場和夫、武藤芳照、岡田真平、高橋美絵：中高年女性を対象とした温泉入浴と生活・運動指導による総合的健康教育—3ヶ月間と6ヶ月間介入の無作為化比較試験—，日本温泉気候物理医学会誌 2004；67(4)：202-214.
- 3) Hiroharu Kamioka, Yoshikazu Nakamura,

- Toshiki Yazaki, Kazuo Uebaba, Yoshiteru Mutou, Shinpei Okada, Mie Takahashi: Comprehensive Health Education Combining Hot Spa Bathing and Lifestyle Education in Middle-aged and Elderly Women: One-year Follow-up on Randomized Controlled Trial of Three-and Six-month Interventions, J Epidemiology 2006; 16(1) : 35-44.
- 4) 日本健康開発財団：温泉利用型健康増進施設の実証事業検討会 報告書、平成 15 年 3 月。
- 5) 江夏亜希子、上岡洋晴、武藤芳照、中村好一、板垣文雄、和泉ちひろ、須藤晴紀：高齢者に対する長期間の温泉入浴と運動・生活指導による効果, 厚生労働科学研究 研究補助金健康科学総合研究事業 平成 16

年度 総括・分担研究報告書、平成 17 年。

F. 健康危険情報

今回のプログラム中に、プログラムに関係して傷害を受けた例は認めなかった。

G. 研究発表

- 1) 第 71 回日本温泉気候物理医学会発表予定。
- 2) eCAM 投稿準備中。

H. 知的財産権の出願登録

なし

表1 研究と被験者の流れ

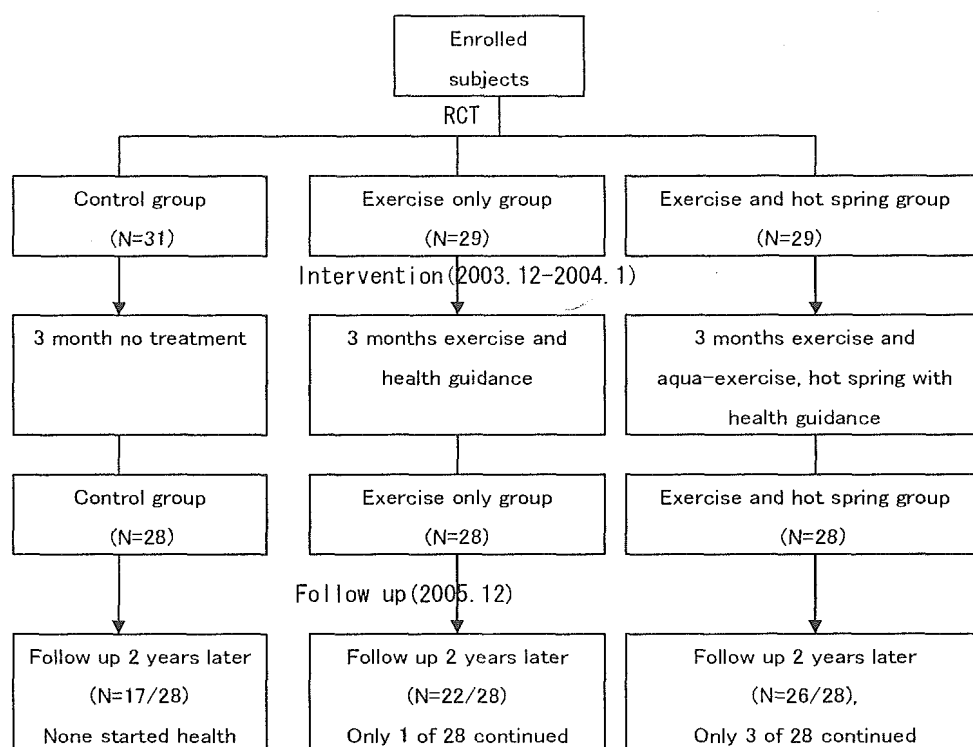


表2 各群の被験者のプロフィール

群別	受診人数 (初期)	項目	年齢	身長	体重	体脂肪率	BMI	最高 血圧	心拍 数
		単位	歳	cm	kg	%	kg/m ²	mmHg	bpm
①対照群	17 (28)	av	59	153	53	31.2	23.0	129	77
		sd	±7	±6	±7	±7.2	±3.4	±17	±13
②運動のみ群	22 (28)	av	60	153	57	31.2	24.3	128	72
		sd	±7	±6	±9	±5	±3.4	±11	±11
③運動+温泉群	26 (28)	av	62	152	55	30.4	23.6	125	70
		sd	±5	±5	±8	±6.2	±3.4	±16	±8
④継続群	4	av	63	152	56	32.6	24.4	135	80
		sd	±3	±3	±10	±10.6	±5.6	±8	±27
p value (one-way ANOVA)			NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

表 3 体重や体脂肪率の変化の比較

群	検査項目	体重	肥満度	体脂肪率	BMI
	単位	kg	%	%	kg/m ²
対照群 (N=17)	前	52.1±6.9	3±16	30.7±8.3	22.6±3.4
	3ヶ月介入直後	51.9±6.7	2±15	30.4±6.7	22.5±3.3
	2年後	53.4±6.9	5±15	31.2±7.2	23.0±3.4
運動のみ群 (N=22)	前	58.2±9.4	12±16	32.6±5.4	24.7±3.6
	3ヶ月介入直後	*57.1±9.3	*10±16	*31.2±5.1	**24.2±3.5
	2年後	*57.0±9.3	*11±16	*31.2±4.6	24.3±3.4
運動+温泉群 (N=26)	前	56.0±7.3	10±15	32.1±6.6	24.1±3.4
	3ヶ月介入直後	*55.0±6.9	**7±14	**30.4±5.7	**23.6±3.1
	2年後	*54.7±7.6	*7±15	*30.4±6.2	23.6±3.4
継続例 (N=4)	前	56±12	11±25	32.6±10.6	24.4±5.6
	3ヶ月介入直後	55±11	8±23	29.5±9.1	23.7±5.1
	2年後	*52±10	*2±21	*27.6±8.0	*22.5±4.6

†p<0.1, *p<0.05, **p<0.01, paired-t-test against pre-value

表 4 生理学的検査値の変化の比較

群	検査項目	最高血圧	最低血圧	心拍数	最大酸素摂取量
	単位	mmHg	mmHg	bpm	ml/kg/min
対照群 (N=17)	前	132±20	72±11	63±10	32.1±4.9
	3ヶ月介入直後	130±22	74±11	67±10	33.2±4.7
	2年後	129±17	79±11	*77±13	33.0±4.0
運動のみ群 (N=22)	前	139±17	77±9	71±14	29.5±4.7
	3ヶ月介入直後	**123±18	†73±8	**63±9	**32.4±4.7
	2年後	*128±11	79±8	72±11	**32.6±6.1
運動+温泉群 (N=26)	前	134±22	76±11	67±13	32.5±4.2
	3ヶ月介入直後	**125±19	†72±10	**60±7	**34.6±4.1
	2年後	*125±16	75±11	70±8	32.6±6.1
継続例 (N=4)	前	135±8	81±8	80±27	29.1±11.7
	3ヶ月介入直後	125±11	80±13	62±11	30.1±11.1
	2年後	†119±5	†72±3	69±13	†32.8±13.0

†p<0.1, *p<0.05, **p<0.01, paired-t-test against pre-value

表 5 血清脂質濃度の変化の比較

群	検査項目	TC	TG	HDL-C	AI
	単位	mg/dl	mg/dl	mg/dl	
対照群 (N=17)	前	225±36	77±29	66±12	2.5±0.8
	3ヶ月介入直後	236±33	93±35	67±12	2.6±0.9
	2年後	223±31	*104±36	66±10	2.5±0.8
運動のみ群 (N=22)	前	219±31	84±30	62±14	2.7±1.0
	3ヶ月介入直後	223±41	89±51	61±15	2.8±1.1
	2年後	211±31	87±56	63±14	2.5±0.8
運動+温泉群 (N=26)	前	240±37	113±49	59±16	3.4±1.4
	3ヶ月介入直後	231±41	†**97±34	61±17	*3.0±1.1
	2年後	232±38	107±43	**65±17	**2.8±1.2
継続例 (N=4)	前	235±46	85±21	59±28	3.6±2.1
	3ヶ月介入直後	236±56	83±23	64±23	3.1±1.6
	2年後	202±21	93±43	64±26	2.5±1.3

†p<0.1, *p<0.05, **p<0.01, paired-t-test against pre-value

‡p<0.05 repeated measured two-way ANOVA vs other groups

表 6 肝機能検査値の変化の比較

群	検査項目	GOT	GPT	UA	γ-GTP
	単位	U/ml	U/ml	mg/dl	U/ml
対照群 (N=17)	前	24±4	21±5	4.3±1.0	24±16
	3ヶ月介入直後	23±4	17±4	4.4±1.0	20±10
	2年後	23±5	20±6	4.5±1.0	20±9
運動のみ 群 (N=22)	前	22±6	20±9	4.6±1.1	26±24
	3ヶ月介入直後	22±6	21±9	4.7±1.2	26±18
	2年後	22±6	22±10	4.4±1.0	22±11
運動+温 泉群 (N=26)	前	24±6	23±11	4.5±1.0	30±23
	3ヶ月介入直後	26±8	24±11	4.3±1.1	27±24
	2年後	25±6	23±12	4.4±0.9	*23±15
継続例 (N=4)	前	27±7	24±10	5.9±1.1	49±22
	3ヶ月後	28±6	27±9	5.6±0.8	37±10
	2年後	23±2	21±4	5.2±0.9	*30±15

†p<0.1, *p<0.05, **p<0.01, paired-t-test against pre-value

表 7 運動能力の変化の比較

群	検査項目	長座位 体前屈	全身反応 時間	閉眼片 足立ち
	単位	cm	ms	s
対照群 (N=17)	前	14±8	442±64	30±43
	3ヶ月介入直後	14±8	440±65	30±42
	2年後	15±7	446±61	31±51
運動のみ 群 (N=22)	前	13±7	472±101	22±23
	3ヶ月介入直後	*15±7	*435±80	35±31
	2年後	*16±8	447±76	26±27
運動+温 泉群 (N=26)	前	11±9	459±67	20±19
	3ヶ月介入直後	**14±9	475±87	31±29
	2年後	**13±8	479±97	23±28
継続例 (N=4)	前	15±7	474±78	28±14
	3ヶ月介入直後	16±7	468±62	39±34
	2年後	17±8	451±91	29±29

†p<0.1, *p<0.05, **p<0.01, paired-t-test against pre-value

表 8 糖代謝パラメータの変化の比較

群	検査項目	年齢	空腹時血 糖値	HbA1c
	単位		mg/dl	%
対照群 (N=17)	前	58±5	92±6	4.8±0.6
	3ヶ月介入直後	58±5	93±7	4.9±0.6
	2年後	60±7	91±7	5.0±0.6
運動のみ 群 (N=22)	前	58±7	100±18	5.1±0.7
	3ヶ月介入直後	58±7	101±17	5.2±0.7
	2年後	60±7	96±14	5.2±0.8
運動+温 泉群 (N=26)	前	60±5	95±11	5.1±0.5
	3ヶ月介入直後	60±5	97±10	5.1±0.4
	2年後	62±5	94±11	5.2±0.5
継続例 (N=4)	前	61±3	117±12	5.4±0.6
	3ヶ月後	61±3	104±8	5.3±0.6
	2年後	63±3	*100±10	5.3±0.4

†p<0.1, *p<0.05, **p<0.01, paired-t-test against pre-value

表 9 心理的变化の比較

	項目	緊張・不安	抑鬱	怒り・敵意	活力	疲労	混乱	SDS 抑鬱
対照 (N=17)	前値	9±3	9±6	10±8	14±5	8±6	7±3	37±7
	3ヶ月介入直後	8±4	8±5	9±9	14±5	7±5	6±3	35±6
	2年後	10±5	10±8	12±8	15±5	8±6	8±4	35±8
運動のみ群 (N=22)	前値	9±5	9±7	9±6	14±5	6±4	8±4	38±8
	3ヶ月介入直後	8±5	*6±5	*6±5	16±5	5±4	6±4	*34±6
	2年後	9±4	9±6	8±6	16±6	5±3	7±4	36±8
運動+温泉群 (N=26)	前値	10±5	10±9	10±7	16±7	7±6	8±4	36±9
	3ヶ月介入直後	**8±3	**6±7	**6±5	17±7	*5±3	7±3	33±9
	2年後	9±6	9±8	8±7	16±7	5±4	8±3	36±8
継続例 (N=4)	前値	11±4	7±2	13±5	19±7	7±6	7±3	34±5
	3ヶ月介入直後	11±5	4±5	9±6	19±6	7±5	9±4	34±12
	2年後	8±4	6±4	9±7	20±6	5±4	7±1	32±5

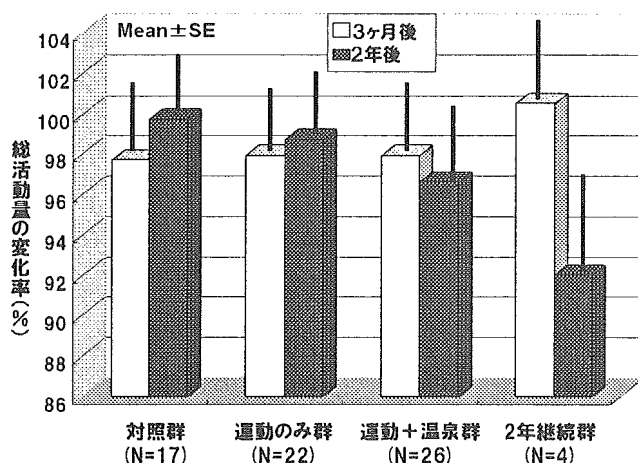
†p<0.1, *p<0.05, **p<0.01, Wilcoxon's signed ranks test against pre-value

表 10 食習慣の変化

			酒の1 日量	魚介類の 量	肉料 理量	大豆製 品の量	野菜の 量	緑黄色 野菜量
対照 (N=17)	前	av	1.0	2.2	2.0	2.5	3.5	2.6
		sd	0.0	0.4	0.8	0.5	0.6	0.5
	3ヶ月直後	av	1.0	2.7	2.0	2.9	3.5	2.9
		sd	0.0	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0
	2年後	av	1.2	2.6	2.1	2.6	3.6	2.9
		sd	0.4	0.6	0.7	0.7	0.6	0.9
運動のみ群 (N=22)	前	av	1.1	2.3	2.0	2.5	3.2	2.9
		sd	0.3	0.9	0.6	0.8	0.9	0.7
	3ヶ月直後	av	1.0	2.4	2.0	2.9	3.6	2.9
		sd	0.0	1.0	0.8	0.8	0.7	0.8
	2年後	av	1.0	2.6	2.0	2.7	3.4	3.1
		sd	0.0	0.8	0.7	0.8	0.8	0.7
運動+温泉 群 (N=26)	前	av	1.1	2.2	1.8	2.3	3.3	2.8
		sd	0.2	0.8	0.7	0.8	1.0	1.0
	3ヶ月直後	av	1.0	2.5	2.0	2.7	3.5	3.1
		sd	0.0	0.8	0.9	0.8	0.8	0.9
	2年後	av	1.1	2.3	1.8	*2.8	3.7	3.0
		sd	0.3	0.8	0.6	0.8	0.6	1.1
2年間継続 群 (N=4)	前	av	1.5	2.5	1.8	2.5	3.5	2.5
		sd	0.7	1.3	1.0	0.6	0.6	0.6
	介入直後	av	1.0	2.3	1.3	2.3	3.0	3.0
		sd	0.0	1.0	0.5	0.5	0.8	0.8
	2年後	av	1.3	2.8	1.5	2.8	3.3	2.5
		sd	0.6	1.0	0.6	1.0	1.0	1.0

†p<0.1, *p<0.05, **p<0.01, Wilcoxon's signed ranks test against pre-value

図 1 総活動量の変化率の比較



厚生労働科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）
分担研究年度終了報告書

安全で有効性の高い温泉療法と生活・運動指導プログラムの開発
ー温泉療法の標準化と安全性確保のためのウェアラブルコンピュータと
ユビキタス生体センサーを使った水中運動モニタリングシステムの開発ー

分担研究者 上馬場 和夫 富山県国際伝統医学センター次長
研究協力者 許 鳳浩、王 紅兵（富山県国際伝統医学センター）
矢崎 俊樹（日本健康開発財団）
上岡 洋晴（東京農業大学地域環境科学部）

研究要旨

温泉入浴プログラムでは、水中運動が中心となっており、水中運動の最中でも運動量などを標準化できる生体情報モニタリングシステム（ユビキタス生体センサー）の開発が、有効性の比較する前に必要と考えられる。まずは簡便で複数の被験者が同時にモニターできる「心拍のモニタリングシステム」を開発した。試作した光電式心拍測定装置を耳朶に取り付け、テレメトリ式として、同時に5名のデータを送信し、インテック製ウェアラブルコンピュータに呼び出して監視員が目の視野に各人のデータを見ることができシステムを確立することをめざした。目標心拍数以外になると画面で赤く表示されるように設定した。

5名の被験者（男性、39±8歳）に心拍計を装着させ、陸の運動と水中運動中の心拍の変化を測定した。テレメトリ式心電計と本耳朶光電式心拍測定装置との相関性は、心拍数60-140bpmの平地歩行において十分に高いものであった（ $R^2=0.95$ ）。水中では、10%程度の心拍の減少を認めた。軽度から高度の水中運動を行わせた場合、心拍数は、負荷程度に依存して増大した。しかし、水中での心拍数変化は、床運動と比べ変動が大きいものであった。水中歩行では、手や足の使い方によって心拍数に有意な差が認められた。耳朶光電型心拍モニターを使うことにより、水中運動を標準化できる可能性が示唆された。また、テーラーメイドの健康指導を安全に行う場合にも、ウェアラブルコンピュータによるリアルタイムのモニタリングシステムの有用性が期待された。

キーワード：水中運動、ウェアラブルコンピュータ、ユビキタス生体ヘルスセンター

A. 研究目的

平成15年度における温泉入浴に関する厚生労働科学研究において、60分の運動をする運動のみ群28例と、30分間の運動と30分間の水中運動に30分間の温泉入浴を加えた運動+温泉入浴群28例、対照群28例を比較した結果、運動のみ群も、運動+温泉入浴群も、共に、体重や体脂肪率、血圧、心拍数、体力、心理的検査などの改善をみと

めながら、中性脂肪や総コレステロール、動脈硬化指数〔(TC-HDL-C)/HDL-C〕については、運動+温泉入浴群だけが、改善を認めたり。

当該研究における温泉入浴プログラムには、30分間の水中運動（30℃）と30分間の温泉入浴（39-41℃）が含まれていることから、温熱刺激と水中運動の2つの仕組みが、脂質の改善に関与していることが推定される。平成16年においては、

温熱刺激の脂質代謝への影響を、遺伝子レベルから調査し、HDL-C binding protein の発現が増大することなどの結果を得た²⁾。また、心拍数が酸化ストレスや体温と相関するという結果も得た²⁾。そこで、平成17年には、水中運動が脂質に影響することを調査すべく、水中運動で消費されるエネルギー量の推測をすることで、プログラムの標準化をすることで、温泉入浴プログラムの有用性の機序の解明を目指すことを考えた。

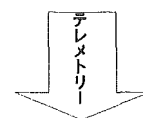
水中運動も含めた運動の量や、温泉への入浴温度の影響を評価することは、安全で有効な温泉入浴プログラムの開発にとって必須なことと考えられる。しかし、水中運動では、電極を水中で使うことができずテレモニタリングにおいて困難を伴う。だが心拍数一つであっても、入浴温度負荷量の推定、生体の温熱による酸化ストレスの推定、さらには温泉入浴プログラム実践中の安全性確保に役立つ可能性が示唆されている²⁾。特に今後増加する高齢者の温泉入浴プログラムの実践中の安全性確保（溺没などの早期発見）にとって、小型の多機能ユビキタス生体センサーシステムの開発は意義深いと思われる。

現在、陸での心拍数などのモニタリングシステムは実用化されているが、水中運動中において、多人数を同時にテレメトリで測定するシステムは実用化されていない。

また、インストラクターが、リアルタイムで、複数の人達の状態をパソコンでモニタリングして、状態に応じた指示や処方、さらには安全性確保のための指示を与えるためには、インストラクター自身がコンピュータを携えることが必要となる。このようなシステムが、ウェアラブルコンピュータを使ったアドホックネットワークによる運動者管理システムである³⁾。しかし、これも実用化には至っていない。

我々は、平成16年から本研究事業の中で、ユビキタス生体センサーを試作を開始し、耳朶あるいは耳から種々の生体情報を採取し、それをフィードバックするシステムとして表1のようなアイデアを提案した。設計案は図1に示す。

耳朶からのデータ：心拍、血圧、酸素飽和度、加速度
耳孔からのデータ：鼓膜温(外耳道内温度)、呼吸音



- 心拍、血圧、酸素飽和度、鼓膜温、呼吸音、運動量の連続モニターし、運動の標準化
水に浸からないので、水中運動にも装着可能
- 水中に一定の時間浸かるとアラームが鳴る
(溺没の予防など、安全性を高める)
- ウェアラブルコンピューターでいつでもモニタ可能

表1 ユビキタス生体センサーのアイデア

そして、実際、体温と呼吸音、心拍を同時測定できるシステムを試作したが、体温の安定性や呼吸音の採取データの精度の問題が発生した。平成16年度の実験において、心拍数のみでも、尿中8(OH)dG/クレアチン排泄量や舌下温とも十分に相関する結果を得た²⁾ことから、心拍数に絞ってモニタリングできるシステムの構築を考え、ウェアラブルコンピューターとユビキタス生体センサーを使った水中運動モニタリングシステムを試作し、そのシステムの水中運動の標準化に対する有用性を検討した。

B. 研究方法

1) 対象者：健常男性被験者5名(29-53歳：39±8)に、文書による同意を取得した後、試験に参加させた。

被験者選択基準：①事前検診の問診、理学的検査で大きな問題のない成人。②本試験に参加することに文書にて同意が得られた者、被験者除外基準：①重篤な肝疾患、腎疾患、心疾患、肺疾患、血液疾患、皮膚疾患などの患者。

2) 検査：試作の耳朶光電型テレメトリ式心拍計を装着させ、陸と水中運動中の心拍数の変化を記録した。

陸の運動：周囲75mの歩行レーンを、10分間づつ、mild(3.5~4.0 km/hr), moderate(4.5~

5.7km/hr), severe(6.0~7.0km/hr)で、全員一緒に歩行させた。一方水中運動でも、長さ25mのプール(30-31°C)を各10分間づつ、mild(2.4~3.0km/hr), moderate(3.0~3.5km/hr), severe(3.75~5.0km/hr)で、全員一緒に歩行させた。なお、mildの早さでは、両手を使って平泳ぎのように水をかき分けながら歩行する往路と、手を動かさずに後ろになびかせながら楽に歩行する復路の歩行も行わせた。

なお、生体の日内リズムを考慮して、食事の2時間後以降に実験を行い、実験の時間帯は、午後2:00~6:00の間とした。陸と水中の実験の順序はランダムにはせず、陸の実験の方が心拍の回復が速いことを確認したので、陸の実験の方を最初に行い、その後、心拍数が回復してから、水中運動をさせた。

3) ウエアラブルコンピュータ付き耳朶光電型テレメトリ式心拍計の試作

耳朶用光電式(赤外線式)心拍計に、厚さ10mm、縦40mm、横30mmのバッテリー兼発信器(写真1)を、アンテナと兼ねた15cmのコードでつないだ。そこから、100mm x 42mm x 140mmの中継受信機に微弱電波(400MHz:通信距離30m)を送り、さらに中継受診機からは、58mm x 22mm x 59mmの最終中継器まで2.4GHz(通信距離150m)の電波送信をした(写真2)。最終中継器からは、USBで直接コンピュータに入力させた。なお試作の段階では、5名のうち2名の被験者で、胸部電極式日本光電製テレメトリ式心電計も同時に装着させ、胸部と耳朶との両方で心拍数を採取した。

コンピュータは、ノート型も、ウエアラブル型のどちらにも対応させた。写真3には、インテック製ウエアラブルコンピュータの仕様の実際を示した。

コンピュータの画面には、5名の8回の心拍数の移動平均を、3秒毎に受信して表示した。また、心拍数の許容範囲(上限心拍数と下限心拍数)を画面に入力できるように設定した。そして、許容範囲以外の心拍数が得られた場合は、

心拍数が赤色で表示されるように設定した。

4) 統計解析: データは、Student's *t*-test で検定した。有意水準は0.05とした。

C. 研究結果

① 胸壁テレメトリ式心電計と耳朶光電型テレメトリ式心拍計との相関性:

試作の段階にて、2名の被験者を対象として、心拍数60-140bpmの平地歩行における、胸壁テレメトリ式心電計で測定した心拍数と、本耳朶光電型テレメトリ式心拍計で測定した心拍数の相関計数を求め、耳朶光電型テレメトリ式心拍計の精度を確認した。その結果は、60-140bpmの平地歩行における、両者の相関計数は十分に高いものであった(図2、 $R^2=0.95$)。

② 耳朶光電型テレメトリ式心拍計の実測結果:

周囲75mの歩行レーンを、10分間づつ、mild(3.5~4.0km/hr), moderate(4.5~5.7km/hr), severe(6.0~7.0km/hr)で全員一緒に歩行させて、耳朶光電型テレメトリ式心拍計で心拍数を実測した結果では、 $78 \pm 12 \rightarrow 96 \pm 10 \rightarrow 114 \pm 10 \rightarrow 132 \pm 8$ であった(図3)。

一方水中運動では、長さ25mのプールを各10分間づつ、mild(2.4~3.0km/hr), moderate(3.0~3.5km/hr), severe(3.75~5.0km/hr)で、全員一緒に歩行させたところ、 $80 \pm 12 \rightarrow$ (水中76 ± 8) $\rightarrow 93 \pm 16$ (mild) $\rightarrow 108 \pm 20$ (moderate) $\rightarrow 130 \pm 28$ (severe)となり、一緒に歩行しているに係わらず、全員的心拍数の分散は、陸の運動よりも大きく、個人差があることが示唆された(図4)。

さらに、mildの歩行速度において、前向きに水中歩行しながら両手で水をかき分けながら歩行する往路と、手を動かさずに後ろになびかせながら楽に歩行する復路の歩行における心拍数を比較した。また、後ろ向きに歩行しながらホップした場合と、ホップしない場合との心拍数の比較も行った(図5)。水をかき分けながら歩行することで、心拍数で4bpm有意に増加

した ($p < 0.05$)。後ろ向きにホップした場合としない場合とでは、2 bpm 程度の差の傾向が認められた。このように歩行の仕方でも心拍数が異なることが示された。

結果のまとめ

- ① 耳朶光電型テレメトリ式心拍計を試作したが、胸壁心電図による心拍との相関関係は、心拍数 60~140 bpm の間では、 $R^2 = 0.95$ で十分であった。
- ② 軽度から中程度、高度の床の運動と水中運動を行わせた場合、心拍数は、運動強度に依存して増大した。
- ③ 水中運動において、同じ歩行速度であっても、手振りの有無やステップの仕方の違いで心拍数には 2~4 bpm の差がでた。
- ③ 水中運動の方が、運動の強度を変えた場合、特に高度な負荷を与えた場合には、心拍数の変動の差が大きいものであった。

D. 考察

耳朶光電型テレメトリ式心拍計の精度は、60-140bpm の間では十分であった。ただ、耳朶に正しく装着されていることが必要であろう。また、床の運動よりも、水中運動における心拍数の個人差が大きいことが示されたことから、個々人に応じた水中運動量の設定が必要と思われる。特に、水中運動中のちょっとした動作の有無（手を振るかどうか、ホップを踏むかどうか）が、心拍数を変えることが示されたことから、水中運動中の動作の仕方次第で、体内の酸素摂取量の差が生じることが推定された。

このことは、インストラクターがウェアラブルコンピュータを装着して、個々人の心拍数をリアルタイムで知ることができれば、床だけでなく水中運動の仕方を細かく指示することができることを示唆しており、そのことで水中運動の標準化ができる可能性を示している。

心拍数だけでなく、加速度も同時に測定すれば、運動量や最大酸素摂取量を、通常の運動負

荷の状態において概算できることが言われている⁴⁾。最大酸素摂取量は、心疾患の危険因子とも言われ⁵⁾、健康指導をする場合に役立つ指標である。これらのユビキタス生体センサーから採取したデータを、ウェアラブルコンピュータに装着したインストラクターが、リアルタイムでモニターできれば、目標心拍数の異なる複数の人達の運動量をモニターできることになり、個別的で安全、有効な指導が可能となるであろう。また、高齢者の水中運動が盛んになってきているが、高齢者などで起こる可能性の高い入浴中の溺没などの早期発見にも、役立つであろう。

図6は、水中での活用のイメージ図であるが、陸上でも活用したり、加速度もモニターすることができれば、もっと汎用性のあるシステムとなるであろう。特に、インストラクターがウェアラブルコンピュータを使ってリアルタイムに得た実践者のデータを、長期的に蓄積すれば、実践者の健康度や体力（最大酸素摂取量）の長期的変化が明らかになり、総合的な温泉療法の普及にとって大いに役立つものとなるであろう。

E. 結論

耳朶から光電型センサーを使い、複数名を同時に連続的に心拍数をモニターできるテレメトリ式システムを試作した。

心拍数は、体内の酸素消費量や自律神経活動、循環動態の指標として簡便で多くの情報を提供してくれるものであるが、それ以外に体温の変化や酸化ストレスの変化の指標にもなりえるものである²⁾。そのような心拍数を測定するだけでも、ウェアラブルコンピュータにデータを送信すれば、インストラクターがリアルタイムで対象者の心拍モニタリングをしながら、水中運動を標準化してテーラーメイドの指導ができるシステムとなるであろう。このようなシステムを使って、温泉療法の効果を比較検討することで、温泉療法に関する科学的なエビデンスが得られるであろう。

また、ウェアラブルコンピュータによる心拍モニタリングシステムに、今後加速度計などのデータも加えることで、最大酸素摂取量の概算と長期的モニタリングが可能になれば、高齢化社会において、安全で効率的に健康づくりをめざす総合的な温泉療法の普及にとって役たつであろう。

【参考文献】

- 1) 上馬場和夫, 許 鳳浩, 矢崎 俊樹, 上岡洋晴. 総合的な温泉療法の健康増進効果に関する検討. 日本温泉気候物理医学会誌 69(2) : 128-138, 2005.
- 2) 上馬場和夫, 許鳳浩, 矢崎俊樹, 大塚吉則, 上岡洋晴, 鏡森定信, 伊藤要子 : 淡水と炭酸泉足浴における生理・生化学的変化とユビキタス生体ヘルスセンサーを使ったモニタリング, 日本健康開発財団研究年報 26 : 53-66, 2005.
- 3) 柳瀬 康宏, 森田和延, 青木功介, 釣裕美, 高木越子, 山本光穂, 堀雅和, 黒田卓, 山西潤一, 寺田努, 塚本昌彦 : ウェアラブルコンピュータを使用した野外学習支援システムの開発, 電気関係学会北陸支部連合大会, p. 229, (2002).
- 4) Plasqui G, Weserterp K: Accelero-

metry and Heart Rate as a Measure of Physical Fitness: Proof of Concept. Med. Sci. Sports Exerc., 37(5): 872-876, 2005,

- 5) Williams P: Physical Fitness and activity as separate heart disease risk factors: a meta-analysis. Med. Sci. Sports Exerc. 33:754-761, 2001.

F. 健康危険情報

耳朶光電型テレメトリ式心拍計による電波障害や、微弱電波を使っているものであり発生することは考えられない。また水中で使われるが、漏電などの問題はなかった。

G. 研究発表

第10回日本統合医療学会(東京)、第25回日本ライフサポート学会(仙台)にて発表予定。

H. 知的財産権の出願登録

なし

図1 ユビキタス生体センサーの設計案

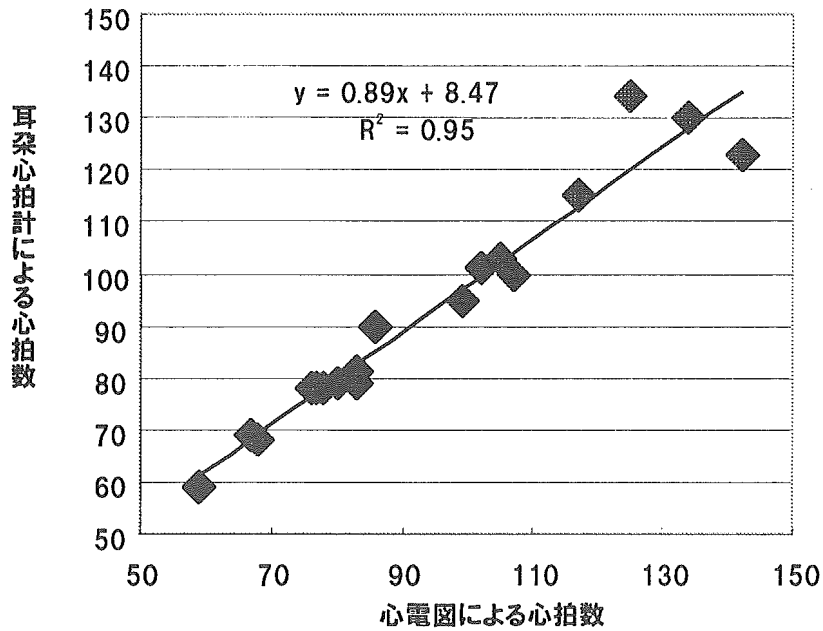
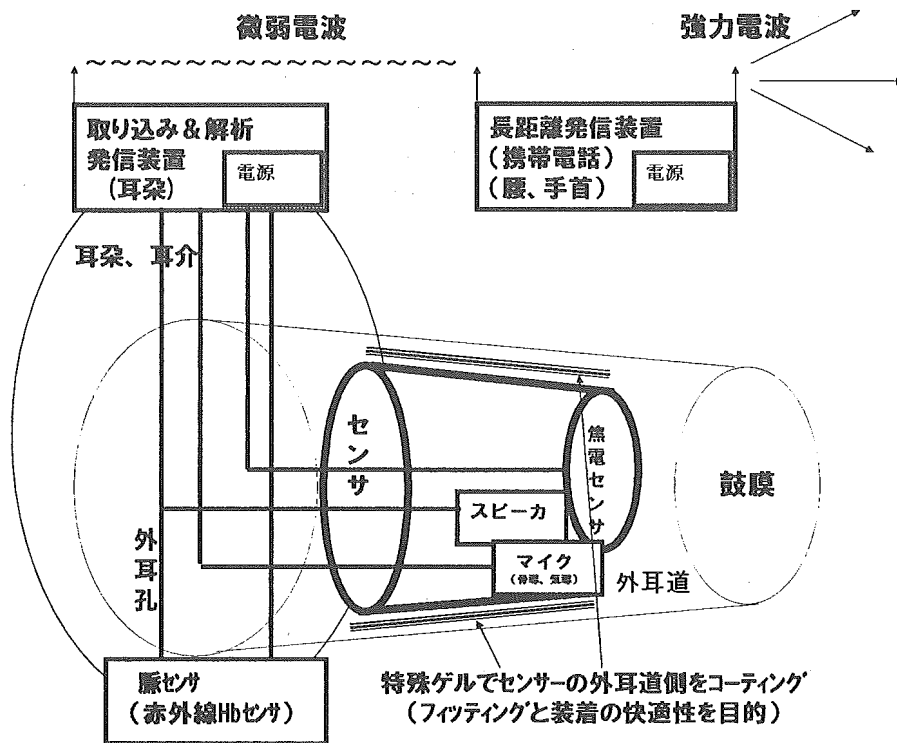


図2 耳朶心拍計と胸壁心電図からの心拍との相関

写真1 耳朶光電型テレメトリ式心拍計の外観

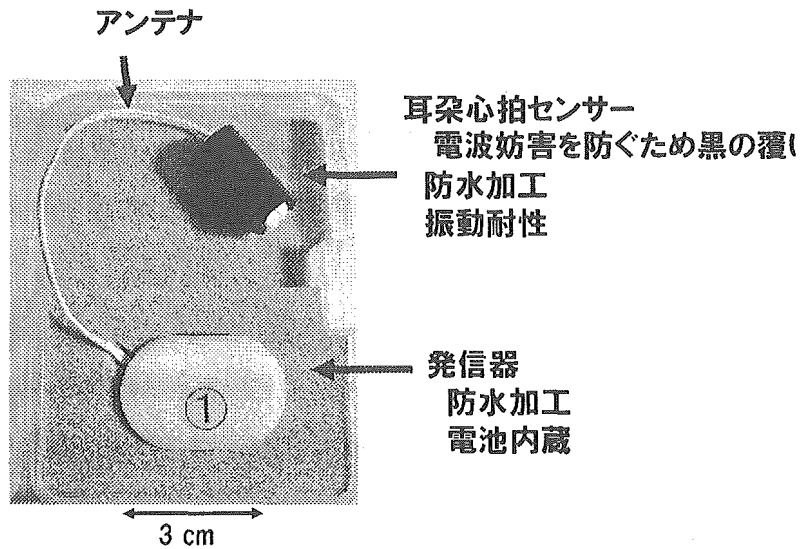


写真2 耳朶光電型テレメトリ式心拍計とネットワーク

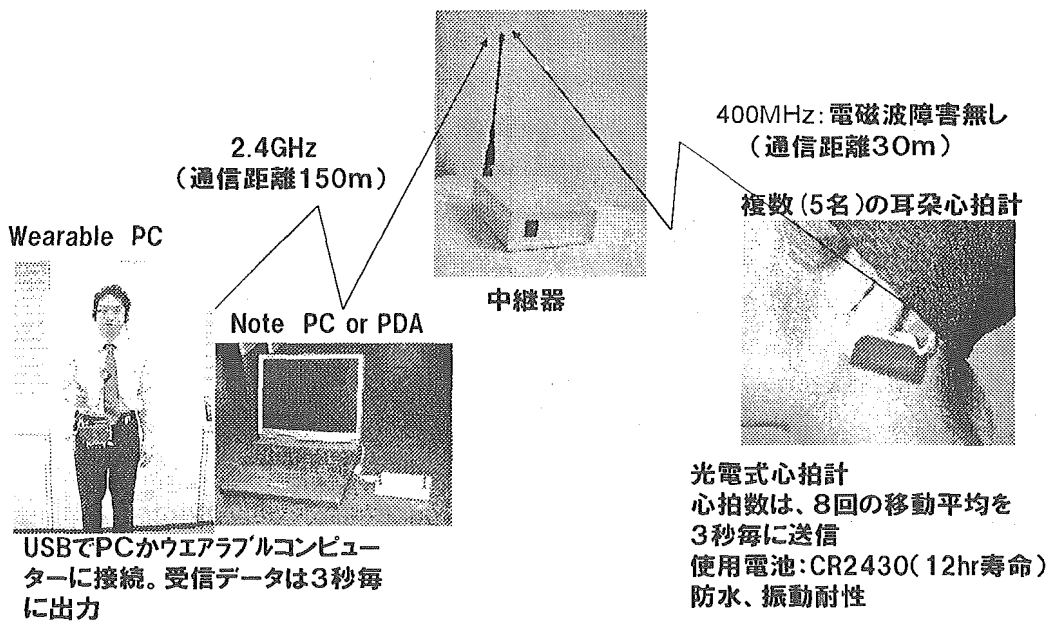
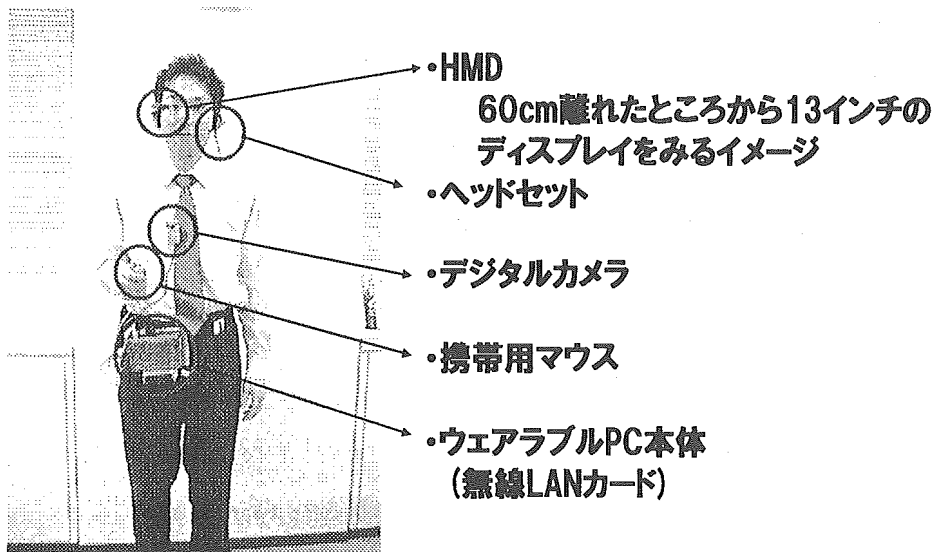


写真3 ウェアラブルコンピュータの仕様(インテック製)



- ヘッドマウントディスプレイを表示装置にしたポケットサイズの超小型パソコン。
- 無線通信機能を組み込んでリアルタイムに健康状態を把握。

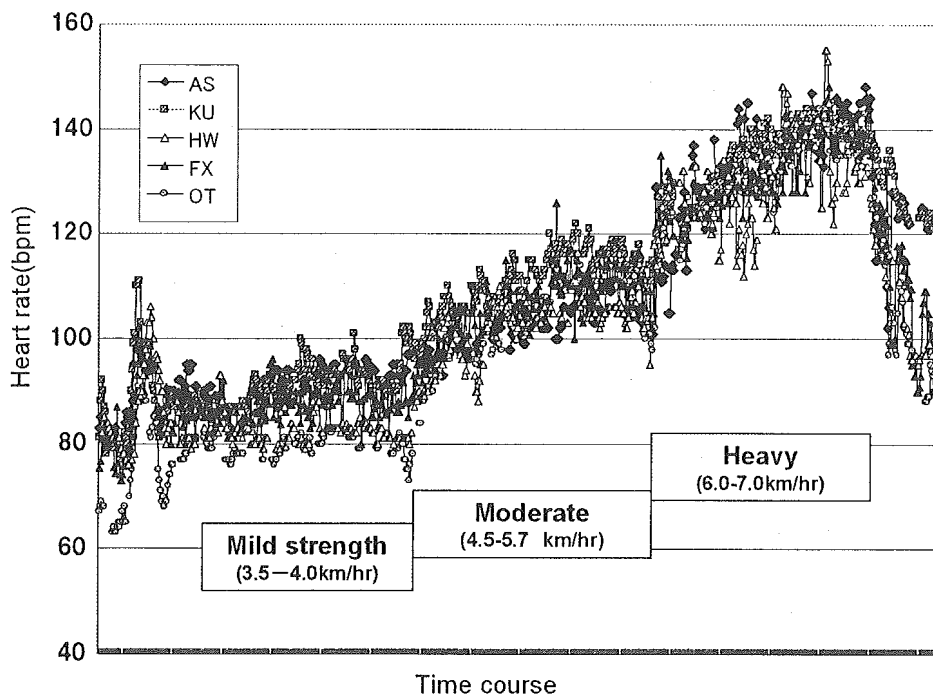


図3 床運動の強さと心拍数の変化