

2種の創動運動の温熱画像による分析

滝沢茂男・武藤佳恭・家本晃・高田一・長岡健太郎・渡部一郎

要約:

プログラムに従い、2種の足関節運動器(足関節底背屈運動器と膝関節屈伸運動器)を用いて行う創動運動によるリハビリテーション(リハ)は、いくつかの老人福祉施設や病院において導入され、効果を挙げている。サーモグラフィ装置の機能を有効に利用できる測定装置開発を行い、プログラムを構成する主要素である創動運動が高齢障害者に与える影響について検証を試みた。下肢運動の運動範囲・角度や速度の測定、開始前後のサーモグラフィ装置による温熱画像撮影を行った。回数、移動距離や角度をパラメータとして、下肢の運動によるサーモグラフィ装置のポイント温度表示機能を用いた下肢筋群の皮膚温変化を調べた。対象は通所リハセンター利用者13名で、約2分間の運動の前後に撮影し測定し分析した。その結果、膝関節屈伸運動、足関節底背屈運動とも皮膚温のわずかな上昇・下降又変化が見られないものがあり、全体として顕著な皮膚温変化は確認できなかった。下肢の屈伸・底背屈創動運動共に大きな体温変化を示さなかったことは、この運動が大きな負荷にならず、高齢障害者の運動に適していると考えられ、プログラム化リハが好結果を上げている理由の一面が現れたように思われる。

Key words: 創動運動評価装置、サーモグラフィ装置、温熱画像、高齢障害者、プログラム化リハビリテーション

緒 言

いくつかの介護老人保健施設や病院において2種の下肢運動器(足関節底背屈創動運動器と膝関節屈伸創動運動器)を用い、プログラムに従い行う創動運動によるリハビリテーション(以後リハ)が導入されている。その結果入所者の身体状況はFIMの歩行、排尿の改善が明らかにされている。またRCTが実施され、同様に有効性が報告されている。患者自身が患側を健側により動かす創動運動はこれまで他動運動以外では不可能であった麻痺のある患側下肢の運動を可能とし、このプログラム化リハの実施を可能にした。しかし、今日まで、創動運動実施が身体に与える具体的な効果評価は、プログラム化リハ実施に伴う事前事後の評価のみであり、他の評価方法による影響評価が求められていた。今回我々は温熱画像による分析を試み、前頸骨筋と下腿三頭筋など下肢筋群の皮膚温をサーモグラフィ装置(以後サーモ装置)のポイント温度表示機能を用いて収集し、プログラムに従い行う創動運動が運動として高齢障害者に与える影響について検討した。

対象と方法

1. 対象者と実験概要

本実験は2006年6月14日から16日までの間、大分県の通所リハセンター利用者13名を対象に行った。各被験者の膝関節屈伸創動運動と足関節底背屈創動運動状況を下肢運動測定装置(前後の可動範囲565mm、最大背屈角度

37度)で評価した。実験の同意が得られた対象者は男性8名女性5名である。平均年齢65.5歳、最高齢79歳最低年齢35歳で装具を用いる必要のある下肢麻痺の被験者はいなかった。詳細は表1に示す。

温度の測定については膝関節屈伸運動と足関節底背屈運動のそれぞれ、約2分間の運動の前後に温熱画像を撮影し測定した。被験者には、自分でできる範囲の運動で、痛みなどが出ない範囲で運動をするように教示した。

表1 被験者の状況(通所リハビリテーション利用者)

| 被験者番号 | 性別 | 年齢 | 介護度 | 患側 | 既往歴 | リハビリ期間 | 歩行状況 |
|-------|----|----|------|----|--------|--------|------|
| 1 | 男 | 71 | 要介護1 | 右 | 脳卒中 | 2年 | 独歩 |
| 2 | 男 | 79 | 介護2 | 右 | 脳梗塞 | 1年1ヶ月 | 独歩 |
| 3 | 女 | 57 | 要介護2 | 左 | 脳卒中 | 1年 | 杖 |
| 4 | 男 | 51 | 要介護1 | | パーキンソン | 5ヶ月 | 独歩 |
| 5 | 女 | 59 | 要介護1 | 右 | 脳梗塞 | 2年 | 独歩 |
| 6 | 男 | 65 | 要介護2 | 左 | 脳内出血 | 2年10ヶ月 | 杖 |
| 7 | 女 | 72 | 要介護1 | | パーキンソン | 6年 | 杖 |
| 8 | 男 | 73 | 要介護1 | 右 | 脳出血 | 2年9ヶ月 | 独歩 |
| 9 | 女 | 77 | 要介護1 | | パーキンソン | 1ヶ月 | 杖 |
| 10 | 男 | 35 | 自立 | | 背骨圧迫骨折 | 3ヶ月 | 杖 |
| 11 | 男 | 70 | 要支援 | | パーキンソン | 4年 | 独歩 |
| 12 | 女 | 67 | 要介護1 | 右 | 脳梗塞 | 10ヶ月 | 杖 |
| 13 | 男 | 75 | 要介護1 | 右 | 頸髄損傷 | 10年 | 松葉杖 |

(実施日 6/14 被験者番号 1番から3番、6/15 4番から10番、6/16 11番から13番)

2. 実験器具開発

創動運動の機序解明のために、下肢運動の運動範囲、角度や速度の測定、さらにサーモ装置による温熱画像の収集、撮影した温熱画像は撮影日時秒を明示し、実験ごとに前後の別をファイル名として、自動収集可能な装置を開発した。この実験器具は図1に示すように被験者が椅子に坐り、足板（長さ275mm、幅250mm）の上に両足をそろえて乗せ、椅座位で用いる。屈伸創動運動については、ベースプレートに取り付けられた2本の平行なスライドレール上を足板が移動するようになっている。足板をレール上で往復させることで前後運動を行う。また、新たに測定可能とした踵部を揺動軸として踏み込み行う底背屈創動運動については、足板をレール上で固定し、コイルばねを取り付けて背屈運動を行う。サーモ装置はニコン社製、THERMAL VISION LAIRD 3A、本機器では、温度表示が「華氏温度表示(変換できず)」であったので、摂氏のデータに変換して検討した。



図1 実験環境と状況

3. 実験方法

実験環境は裸足、被験者番号3番まで実施した実験初日は室温26度、番号4番以降の第2日及び第3日は室温24度であった。屈伸運動の実験に際して、被験者4は最初の撮影時に目標がはずれたため、屈伸創動運動では皮膚温度データの対比ができなかった。実験では、サーモ装置は定置で、図2のようにポイント温度表示点AからEの5点で皮膚温を測定した。最上部の測定点を足版から概ね20cmの位置に設定した。被験者によっては足の位置がずれるため、5点のうちいずれかが下肢筋群にあたるように撮影した。撮影は測定機器が金属で冷たいため、患者の希望・患者の便宜を図って靴をはいた通常の方法で行った。

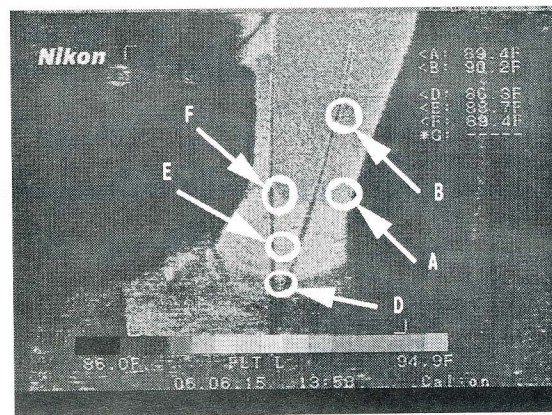


図2 ポイント温度測定点

設定した諸点を円の中心に示す。本図の場合はAとBの数値を採用した。図中の線は筋電評価用のケーブルである。

実験は膝関節屈伸創動運動評価と足関節底背屈創動運動を4分以上5分以内の設置準備期間(被験者にとっては休憩)の後連続して行った。

膝関節屈伸創動運動では、開始時に図2に示す点についてサーモ装置でポイント温度表示機能により皮膚温を測定した後、約2分間の膝関節屈伸創動運動を行い、運動速度と運動距離を測定した。その後再度図2の部位の撮影を行った。

器具設置の後、足関節底背屈創動運動では、同様に開始時に図2に示す点についてサーモ装置でポイント温度表示機能により皮膚温を測定したのち、約2分間の足関節底背屈創動運動を行い、運動の角度や速度を測定した。その後再度図2の部位の撮影を行った。

結 果

1 膝関節屈伸創動運動

1-1 運動の測定結果

表2 被験者の膝屈伸創動運動データ

| 被験者 | 前 (C) | 後 (C) | 温度差 (C) | 運動回数 (回/分) | 総移動量 (cm) |
|-------------|-------|-------|---------|------------|-----------|
| 1 | 31.4 | 31.2 | -0.2 | 67 | 2834.1 |
| 2 | 32.0 | 32.1 | 0.1 | 100 | 5480 |
| 3 | 28.1 | 28.1 | 0.0 | 38 | 2356 |
| 5 | 31.1 | 30.9 | -0.2 | 42 | 4767 |
| 6 | 31.0 | 30.5 | -0.5 | 43 | 7107.9 |
| 7 | 32.7 | 32.4 | -0.3 | 125 | 11712.5 |
| 8 | 32.6 | 33.5 | 0.9 | 87 | 2105.4 |
| 9 | 30.9 | 30.8 | -0.1 | 58 | 2064.8 |
| 10 | 31.2 | 31.1 | -0.1 | 25 | 3220 |
| 11 | 31.4 | 31.3 | -0.2 | 86 | 5426.6 |
| 12 | 32.9 | 32.3 | -0.6 | 87 | 9717.9 |
| 13 | 31.3 | 31.3 | 0.0 | 28 | 2332.4 |
| Mean | 31.4 | 31.3 | -0.1 | 65.5 | 4927.1 |
| SD | 1.25 | 1.32 | 0.36 | 31.62 | 3178.38 |
| 前後温度差との相関計数 | | | | 0.088 | -0.562 |

総移動量に対して、負の相関の傾向が見られる。

運動の測定結果は、膝を直角にしたときの足板位置を原点とし、概ね2分間の屈伸運動による足板の位置を示す。開発機器の計測では前方に突き出した時の到達位置の内の最大値は352mm、引き戻した時の到達位置の最大値は-139mm、平均移動量は81.5mmであった。表2は、測定時間中の被験者（被験者4を除く）の開始時の皮膚温（前）、終了時の皮膚温（後）、温度差、運動回数、総移動量を示している。夫々の平均（Mean）と標準偏差（SD）を示した。

1-2 ポイント温度測定結果

3日間行った皮膚温の測定においては、各被験者一人当たり膝関節屈伸運動の運動前と運動後に温熱画像撮影を各1回行い、温熱画像24枚を撮影した。表2に数値を示したその変化を図3に示した。12名中、わずかな皮膚温上昇が見られた者2名、わずかながら皮膚温低下したものの9名、変化が見られないものの2名であった。平均温度の差は-0.1度で、温度差と運動回数に相関は見られず、総移動量に対して、負の相関の傾向が見られるが、全体として温度変化は確認できなかった。

なお図2に表示した5点の皮膚温は、撮影を定置で行っており被験者個別の身体状況や撮影時期ごとの設定変化に伴い撮影位置が異なっているため、明らかに下肢筋群を示していないデータを除外した平均値を用いた。一例として図2の被験者の場合はA点とB点の合計を平均している。

2 足関節底背屈創動運動

2-1 運動の測定結果

足関節底背屈運動の測定結果を表3に示す。表3では、被験者13名について、開始時から10回を除き、その後の10回の測定時間中の平均運動角度、運動時の足板前方の引きあがり始めから再度の踏み込みまでの平均経過時間を底屈と背屈のそれぞれについて示した。これは、前述のように足板のベースプレートの対する可動角度が0度から37度であること、利用者の習熟度、実験途中の中止があったため、データ比較を正確にするため比較対象データの利用範囲を制限したものである。

2-2 ポイント温度測定結果

皮膚温の測定において、屈伸運動の時と同様に各被験者一人当たり底背屈運動の運動前と運動後に温熱画像撮影を各1回行い、13名で合計温熱画像26枚を撮影した。画像撮影時に示された下肢筋群のポイント温度の平均値とその差を表3に示す。その変化を図4に示した。データは1-2記載の処理を行った。

13名中わずかに皮膚温が上昇した者6名、皮膚温が低下したものの7名であった。平均温度の差は0.05度で、温度差と底背屈運動の平均運動角度、平均経過時間に相関は見られず、全体として温度変化は確認できなかった。

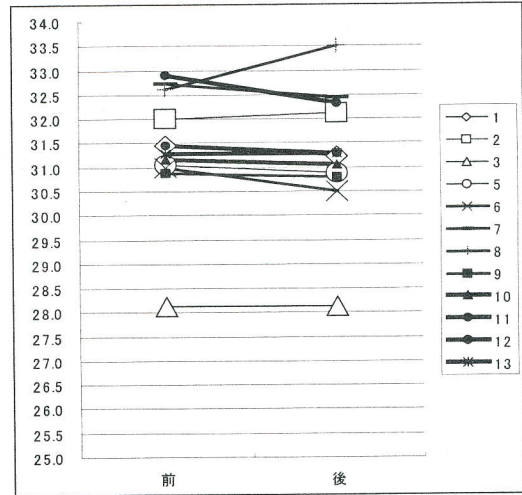


図3 膝関節屈伸創動運動による皮膚温変化

表3 被験者の足関節底背屈創動運動データ

| 被験者 | 皮膚温 | | 温度差 (c) | 底屈運動平均角度 (度) | 平均経過時間 (秒) | 背屈運動平均角度 (度) | 平均経過時間 (秒) | |
|------------|-------|-------|---------|--------------|------------|--------------|------------|--------|
| | 前 (C) | 後 (C) | | | | | | |
| 1 | 31.4 | 31.1 | -0.3 | 14 | 0.32 | 14 | 0.59 | |
| 2 | 31.5 | 31.9 | 0.4 | 20 | 0.36 | 21 | 0.51 | |
| 3 | 25.9 | 25.8 | -0.1 | 20 | 0.27 | 19 | 0.35 | |
| 4 | 32.3 | 32.4 | 0.1 | 17 | 0.16 | 17 | 0.21 | |
| 5 | 31.6 | 31.6 | -0.1 | 21 | 0.33 | 21 | 0.59 | |
| 6 | 30.9 | 30.7 | -0.2 | 24 | 0.37 | 23 | 0.61 | |
| 7 | 32.5 | 32.3 | -0.2 | 13 | 0.18 | 13 | 0.24 | |
| 8 | 32.3 | 32.9 | 0.6 | 14 | 0.78 | 14 | 1.05 | |
| 9 | 31.2 | 31.3 | 0.1 | 23 | 0.34 | 23 | 0.43 | |
| 10 | 30.8 | 30.7 | -0.1 | 18 | 0.59 | 18 | 1.27 | |
| 11 | 31.2 | 31.6 | 0.4 | 7 | 0.16 | 6 | 0.32 | |
| 12 | 32.6 | 32.7 | 0.1 | 12 | 0.16 | 13 | 0.24 | |
| 13 | 31.3 | 31.1 | -0.2 | 18 | 0.8 | 18 | 1.12 | |
| Mean | 31.2 | 31.2 | 0.05 | 17 | 0.37 | 16.9 | 0.58 | |
| SD | 1.69 | 1.78 | 0.28 | 4.83 | 0.22 | 4.84 | 0.35 | |
| 前後温度差との相関数 | | | | | -0.329 | 0.0932 | -0.298 | -0.014 |

すべて統計学的有意の相関は示されない。

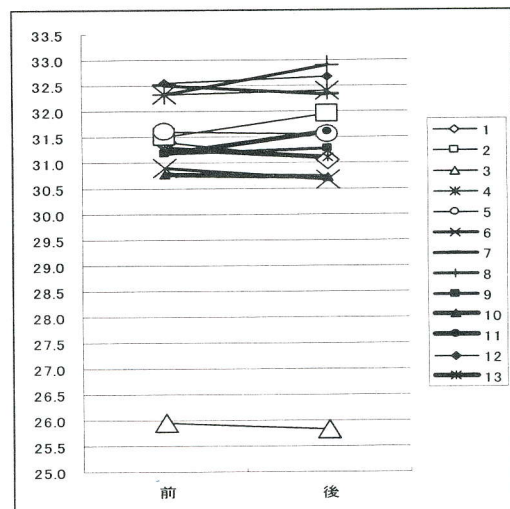


図4 足関節底背屈創動運動による皮膚温変化

考 察

遺伝子分野での進歩は、難病治療の進歩をもたらしている。反面脳血管障害や機能不全で障害者となった高齢者は、リハを受けながらも改善せず、寝たきりとなり、重度の要介護者となって苦しんでいる。脳卒中治療ガイドライン¹⁾が2004年に策定され、Evidenced based な評価・治療の指針として利用されているが、脳卒中の後遺症に悩む患者数は約170万人と明示され、さらに西欧医学として導入された神経・筋促通法について、Dicksteinらのデータを挙げ、わが国の従来の治療法と比して有効であるとのデータがないことを示すなど、多くの問題点を指摘している。又、福井は自己の50年に及ぶリハ医としての経験から革新すべき課題を提示している²⁾。

こうした現状において、タキザワプログラム³⁾に従い、背屈と屈伸の2種の足関節運動器を用いて行う創動運動によるリハは、いくつかの老人福祉施設や病院において導入され、効果を挙げている⁴⁾。このプログラム化リハは2分間の創動運動を中核としており、少ない運動量の運動リハで有効な効果を得ていることがRCTを経て、報告されている⁵⁾。

我々はサーモ装置の機能を有効に利用できる測定装置開発⁶⁾を行い、新たに下肢運動の角度・角速度の測定を可能にした。プログラム化リハの中核である下肢創動運動の利用者への負荷と効果の検証のため、この機器を用いて、開始前後のサーモ装置による温熱画像撮影と、回数、移動距離や角度をパラメータとして、下肢の運動によるサーモ装置のポイント温度表示機能を用いた前頸骨筋と下腿三頭筋等下肢筋の皮膚温変化の分析を試みた。

今回の検討では通所リハビリテーションセンター利用者13名を対象に屈伸運動と足関節底背屈運動状況を調べ、約2分間の運動の前後に撮影し測定したポイント温度により皮膚温変化を対比した。その結果、2分間の運動では皮膚温上昇にいたる負荷にならないことを示した。一面、有意の差異が出なかったのは靴の影響があることも考えられた。

この2分間の運動を中核に取り入れたプログラムが有効な効果を得ていることから、筋力強化は無理でも、強い負荷の運動でなくともリハに関しては効果が得られることを示唆している。米国ではJill Whittallらは、我々の進める創動運動を上肢で行い、fMRIで脳の活性化への影響を評価し、その有効性を報告している⁷⁾。そうした研究と今回の研究結果から考察すると、強い負荷がかからない創動運動であっても継続することが、回復には至らないまでも身体機能改善に有効であるように思われる。創動運動は、いつでも任意に中止できることもあり、高齢者の運動リハに適していると考察する。

今後、ポイント温度表示ではなく熱画像解析システムの利用による非侵襲的かつ客観的なりハ評価方法の確立や、データを蓄積し分析して自動診断が可能になるよう研究を進めたい。プログラム化リハでは運動回数を最大50回

までと制限していたが、脳血管障害後遺症を持つ通所リハ利用者に関し、10分間連続で利用し効果を挙げている施設もあり⁸⁾、今後測定機器を改良し、実施を2分間と限ることなく運動実施10分間の温熱画像による評価、特に熱画像解析システムの利用による評価を行いたい。

今後我々は下肢創動運動に関するこれらの研究を可能にするよう競争的資金の獲得を目指していく。そうした研究の積み重ねが、プログラム化リハの有効性検証のみならず、脳卒中ガイドラインが求める脳卒中後遺症に対するリハ医学・医療での治療法、訓練手技のEvidenced basedな解明や革新を可能にすると思われる。

謝 辞

本研究の一部は、平成16-17年度文部科学省科学研究費補助金(基盤(C))課題番号16500069・「リハビリテーションによる回復度評価データの標準化の為のデータベース構築と分析に関する研究」、及び平成18-19年の文部科学省科学研究費基盤研究(C)課題番号18560245「リハビリテーションにおける回復度評価システムの構築」により実施した。

また、本研究の実験にあたり、特定特別医療法人岡本病院理事長岡本雄三氏、理学療法士石丸知二氏、老健施設湘南の丘理学療法士滝沢恭子氏、特別養護老人ホーム真野の里高野亮司氏、在宅介護支援センター真野の里岡岡恵美子氏、新潟医療福祉大学牧田光代氏、社会福祉法人湘南福寿会アザリアホーム、社会福祉法人竹生会特別養護老人ホーム芭蕉苑及び社会福祉法人共生会藤沢特別養護老人ホームの方の協力に深謝します。

実験にあたっては、筋電図収集及び歩行解析を研究事項として、横浜国立大学大学院工学研究科小松祐輔氏、木下慶氏及び田中権太氏に、サーモ装置を貸与いただいた慶應義塾大学武藤研究室茶志川孝和氏、ニッタン株式会社様に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 篠原幸人,吉本高志,福内靖男,石上重信編:脳卒中治療ガイドライン,2004,協和企画(東京)
- 2) Fukui K, Kimura T, Takizawa S: Proposition for the Innovation of the Rehabilitation Mechanism of Proprioceptive Neuromuscular Facilitation. *Biophilia Rehabilitation Journal* 3: 17-25, 2005
- 3) Takizawa S, Takizawa K: Method for managing exercise for function recovery and muscle strengthening, US Patent 7153250, 2006
- 4) Ushizawa K, Takizawa S, et al: Statistical Evaluation of Rehabilitation to the Disabled Elderly based Takizawa-Program, *Biophilia Rehabilitation Journal*, 2:1:71-80, 2004
- 5) Makita M, Nakadaira H, Yamamoto M: Randomized

Controlled Trial to Evaluate Effectiveness of Exercise Therapy (Takizawa Program) for Frail Elderly, Environmental Health and Preventive Medicine 11, 5: 221-227, Sep. 2006

- 6) Takizawa S, Takizawa K: Lower limb function training device, AU Patent 2004201136, 2006
- 7) Jill Whittall, PhD; Sandy McCombe Waller, MS, PT, NCS; Kenneth H. C. Silver, MD; Richard F. Macko, MD: Repetitive Bilateral Arm Training With Rhythmic Auditory Cueing Improves Motor Function in Chronic Hemiparetic Stroke. Stroke 2000;31:2390
- 8) 木村哲彦, 滝沢茂男: 平成 17 年度独立行政法人福祉医療機構助成事業「高齢者自身による地域リハ・ネット構築事業」報告書, 2006

所 属

滝沢茂男

慶應義塾大学 SFC 研究所上席研究員 (訪問)
〒251-0871 神奈川県藤沢市善行 7-5-4
バイオフィリア研究所内

武藤佳恭

慶應義塾大学環境情報学部
〒252-8520 神奈川県藤沢市遠藤 5 3 2 2

家本晃

バイオフィリア研究所有限公司
〒251-0871 神奈川県藤沢市善行 7-5-4

高田一

横浜国立大学 大学院工学研究院
〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79 番 5 号

長岡健太郎

日本医科大学医療管理学教室
〒113-8602 東京都文京区千駄木 1-1-5

渡部一郎

青森県立保健大学理学療法学科
〒761-0793 青森県青森市浜館間瀬 58-1

The analysis of two motivative exercises using infrared images

TAKIZAWA, Shigeo¹⁾, Yoshiyasu Takefuji²⁾, Akira Iemoto³⁾,
Hajime Takada⁴⁾, Kentaro Nagaoka⁵⁾ and Ichiro Watanabe⁶⁾

¹⁾Keio University SFC Institute, ²⁾Keio University, ³⁾Biophilia Institute Inc.,
⁴⁾Yokohama National University, ⁵⁾Nippon Medical School and ⁶⁾Aomori University of Health and Welfare

The physical improvement of the bodies at welfare facilities for the elderly, which introduced the TAKIZAWA method of rehabilitation training, is reported to be significantly effective. The motivative exercise is also being carried out by the paralytic patients whose leg exercises as the active exercise is impossible in former conditions. We developed the new measuring devices which can use the function of the thermography device effectively of motor function for leg muscles on the motivative exercise. By using thermography, the number of times, migration length, and an angle of the leg exercise and the shoot of infrared images were done before and after exercises. Then we verified the effect of motivative exercise on the influence on the disabled elderly. The subjects were 13 users of the rehabilitation facility for out patients. They are photographed, measured and analyzed before and after exercises for about 2 minutes. As a result, though the rise of body temperature was slightly recognized both the dorsiflexion and plantar flexion training of knee joints, decrease of temperature is similarly recognized in both of them, and there are a few whose changes were not regarded. The motivative exercise is considered to be suitable exercises for the disabled elderly due to the fact that it does not become heavy in load and by showing body temperature changes in the analysis. The aspect of the reason for being giving a good result seems to have appeared in the programmed rehabilitation.

Key words: motivative exercise evaluation device, thermography device, infrared image, disabled elderly, TAKIZAWA method
