原著論文

リハビリ機器使用時の快適性評価に関する基礎的研究

奥本 泰久*, 中村 一美*, 坊岡 正之**, 高尾 文子**

*近畿大学工学部, **広島国際大学医療福祉学部

A BASIC STUDY ON EVALUATION OF COMFORTABLENESS AT TRAINING BY REHABILITATION MACHINE

Yasuhisa OKUMOTO*, Hitomi NAKAMURA*, Masayuki BOOKA** and Fumiko TAKAO**

* School of Engineering, Kinki University, 1 Takayaumenobe, Higashihiroshima-shi, Hiroshima-ken 739-2116, Japan

** Faculty of Health and Welfare, 555-36 Kurose-Gakuendai, Higashihiroshima-shi, Hiroshima-ken 739-2695, Japan

Abstract : With the aging of Japanese population, various welfare equipment such as rehabilitation apparatus have been developed widely to prevent deterioration of the disease and to recover the health. It is desired to develop the suitable equipment for each human having different character and condition, since many of them are mass-produced and general-purpose tools. Then the new rehabilitation machines, which control the power in accordance with the user condition by introducing a biological monitor and feedback system of the signal, is proposed as safety and pleasant training tool. Here the basic research was carried out for such idea by using rehabilitation training machine “leg press” with the aim of strengthening antigravity muscles of the leg by the training. Biological signal and information during the machine training were measured for younger generation as well as elder person, and the relation between muscle force suffered from the external load and comfortableness as an internal reaction of the body was examined. Here the content of α wave from the pattern of electrical brain waves in electroencephalography (EEG), and skin temperature of the face were measured for the evaluation of comfortableness, while electromyography (EMG) is used to measure the muscle strength.

Keywords : Rehabilitation, Training, Kansei evaluation, Comfortableness, EMG, EEG, Thermography

1. 緒 言

世界的な高齢化社会の到来に伴い、高齢者の介護予防、自立回復、介護軽減などの目的で各種の福祉機器やリハビリテーション訓練機器が開発・販売されている。ところがそれらは、殆んどが画一的な量産品であって、幾つかの問題点を有している。すなわち、

- ① 人間工学的、生体工学的、感性工学的なアプローチが少なく、人それぞれの感性や身体負荷に対する力学的・生理的裏付けが少ない。
- ② 低価格で製品化することに主眼が置かれ、福祉用具やリハビリテーション訓練機器の使用を楽しむという視点に欠けている。

今後は、上記2点を考慮した「真に人に優しい」福祉用具やリハビリテーション訓練機器が望まれる。

著者らはこのような観点から、リハビリテーション訓練機器を対象にして、生体モニター導入による利用者のコンディションに応じたマシンの負荷設定や、生体信号のフィードバックによる安全・安心な訓練装置を実現することを目指し、今回その基礎研究を実施した。

研究は、下肢の抗重力筋群の強化を目指した筋力トレーニング用リハビリテーション訓練機器「レッグプレス」(オージー技研製)を使い、このトレーニング時、外力を受ける筋負荷

と身体内部の生体反応としての生体信号・情報を計測し、筋負荷と快適性との関係について検討した。快適性の評価には、感性データ解析といわれる数量分析手法 [1] が普及しているが、ここでは文献 [2, 3] と同様、物理的な生体情報を採用し、脳波、心拍数および皮膚温度などを計測し、定量化を試みた。

男子学生による予備実験に続き、高齢者の実験を行ったが、本稿は、紙面の都合もあり、主に前者の実験結果について考察し、後者については傾向のみ示す。高齢者の詳細な解析結果は続報で報告したい。

2. 実 験 方 法

実験に用いた「レッグプレス」を図1に示す [4]。被験者は高齢者を対象としたが、高齢者の身体特性上安全を考慮し、男子大学生4名による予備実験を行った。その後、33名の男女高齢者を対象とした実験を行った。図2にレッグプレス使用時の実験状況を示す。着座姿勢で足を前後に動かすこ

図1 レッグプレス

図2 実験状況

とにより膝を屈伸させ下半身の強化を図るもので、ウエイトの選択により足に作用する力を調整できるようになっている。実験では膝の屈伸は、3秒で押し3秒で元に戻す6秒周期の繰り返し運動とした。今回計測した項目は下記とし、全て閉眼状態で同時計測としている。

- ① 筋電位（表面筋電図）：大腿直筋，大腿二頭筋，前脛骨筋，腓腹筋，ヒラメ筋
- ② 脳波：10/20法による電極位置，Fp1-A1，Fp2-A2，F3-A1，F4-A2，C3-A1，C4-A2，O1-A1，O2-A2，T3-A1，T4-A2（A1，A2は基準電極）。ただし，本稿に示す値は後頭葉（O1，O2）の左右平均値とした。
- ③ 心拍：X1-X2
- ④ 皮膚温：顔面（前額，鼻頭）

筋電位の計測はカナダThought Technology社製Bio Graph（ProComp Infiniti）を用い，脳波および心拍の計測は日本光電社製EEG-9100を用いた。皮膚温度は日本光電製INFRA-EYE-1200Aサーモグラフィーによった。なお，足裏に簡易体重計を挿入し，両足に作用する力を計測すると，負荷したウエイトとほぼ同じ値であった。

(a) 20kg ウエイト

(b) 40kg ウエイト

(c) 60kg ウエイト

図3 筋電位計測結果

3. 実験結果（若年者）

今回は被験者を男子学生U，A，S，Hの4名とした。U，S，Hは標準的な体型でスポーツ経験の少ない学生，Aは常時クラブ活動としてスポーツを行っている男子学生である。

3.1 筋電位の計測

筋電位の計測結果の一例を標準的な学生Uについて図3に示す。計測した5個の筋の内，ウエイトが低いときは（20kg）足から直接荷重を受ける抗重力筋のヒラメ筋の負荷が大きい，荷重が増加するに従い膝の屈曲に関連する大腿四頭筋群の大腿直筋の負荷が高く，前脛骨筋が最も低いことがわかる。この傾向は他の3名の被験者についても同様であった。なお，筋肉の種別や個人の特性を考えれば%MVCでの評価が望ましいが，本稿は時間の関係で電位の絶対値で表示している。

3.2 脳波の計測

脳波の計測は多点で採取したが， α 波が顕著に表れた後頭葉のO1，O2データを平均した。視覚の情報が脳波に影響するため計測は閉眼で実施している。計測結果の一例を α 波の含有率で整理し図4，図5に示す。 α 波の含有率は，計測した生波形を周波数分析し，そのパワースペクトラムから α 波（8-13Hz）成分の全周波数帯に占める割合を求めたものである。図の表示は横軸がゼロの箇所が安静時，50（秒）の箇所が0-50秒間の平均値，300（秒）の箇所が250-300秒間の平均値というように順にプロットしている。図4（a）に示す被

(a) 被験者U

(b) 被験者A

図4 脳波計測結果（時系列）

験者Uの5分間の時系列で見ると、20kg、40kgではあまり変化はみられないが、60kgでは、トレーニングを始めて50秒後で一旦 α 波の含有量は下がり、運動に慣れが生じると途中で持ち直し、最後は疲労の為かやや下がっている。トレーニング後にはストレスが溜まったと推定される。実験後の感想でも「60kgの場合は、それ迄と異なり終始足がきつく、体全体の疲れも感じた。5分が長く感じられた」との感想であった。他の2名S、Hの場合もほぼ同じ傾向であった。

これに対しスポーツ選手の被験者Aでは、図4 (b) に示すように軽い負荷ではトレーニングの時間経過とともに α 波の含有量が上がり、40kg、60kgでも低下が見られず、特にストレスは生じていない。実験後の感想も「肉体的にも、精神的にも疲れは残らなかった。慣れると楽しかった」とのことであった。

図5は安静時とトレーニング時の α 波含有率を4名の被験者に対して比較したものである。安静時の α 波含有率を1とし（横軸目盛0の位置）、負荷が20、40、60kgの時の α 波含有率がこれに対しどの程度増減したかを示している。1名はトレーニング時大幅に低下したが、残りの3名ではあまり差がないことがわかる。文献[3]によれば、身体負荷がゼロよりも適度に作用するほうが快適であるという結論が得られているが、図5でも負荷が20kgの時の α 波の含有率がやや高くなっている。

3.3 心 拍 の 計 測

心拍の計測も前節と同様閉眼で行った。計測の一例を図6に示す。トレーニング時間とともに心拍数は上昇し、また、負荷が増せば上昇割合も増えている。横軸目盛がゼロの箇所が安静時の計測結果である。

3.4 皮膚温度の計測

2名の被験者について皮膚温度の計測結果を図7および図8に示す。図7（被験者U）は前述の一般学生のもの、図8（被験者A）はスポーツ部に属しており、平素から運動している学生のデータである。

計測は運動開始5分前から始め終了後5分後迄継続した。計測点は左右の頬と前額および鼻頭としたが、左右の頬の温度は実験中変化が見られなかった為、眉間（前額）と鼻頭のみを表示した。ストレスに伴って温度変化する顔面

図5 脳波計測結果（安静時との比較）

内の部位は末梢部に位置する鼻部であり、前額部は深部体温を反映するといわれている [5]。

図7の被験者Uでは20kgの負荷では鼻頭温度は32℃前後

図6 心拍計測結果

(a) 20kg ウェイト

(b) 40kg ウェイト

(c) 60kg ウェイト

図7 皮膚温度計測結果（被験者U）

で大きな変化はなく、ストレスは生じていないと考えられる。負荷終了後も鼻頭温度の上昇は認められない。40kg 負荷ではトレーニング後半に約2℃の鼻頭温度低下を示し、負荷終了後には上昇を続け、5分後に約3.5℃の温度上昇を示した後平均温度付近に戻っている。60kg 負荷でも40kg とほぼ同様の傾向を示した。

これに対し被験者Aでは、図8に示すように、前額および鼻頭の温度とも20kg 負荷ではトレーニング中に温度の変化はほとんど認められなかったが、終了後4、5分で鼻頭温度の上昇がみられた。40kg、60kg 負荷時においても鼻頭温度の低下は認められず、トレーニング終了後徐々に上昇し、5分間で約1.5℃の上昇を示した。40kg と60kg の負荷に特段の違いは認められない。

被験者Uにおいても被験者Aにおいても20kg の負荷では末梢温度を示す鼻頭温度は負荷時に大きな変化を示さなかった。しかし、負荷が40、60kg となると日頃運動習慣のない被験者Uでは鼻頭温度が低下し、続いて終了後には5分で3.5℃の上昇を示した。一方、日頃運動を習慣化している被験者Aでは負荷時の温度低下はほとんど認められず、終了5分で約1.5℃の温度上昇にとどまった。すなわち運動習慣の有無で鼻頭温度変化による末梢循環状態が異なり、運動習慣のない者にはこの負荷で末梢循環を低下させ、その反動として終了後には大きく末梢に血流循環し反応していることがわかる。運動習慣のある者は反応の程度は微弱である。

この傾向は脳波の計測結果である図4の(a)、(b)と符合する。40、60kg で被験者Uはトレーニング終盤にα波含有率がかなり低下しているのに反し、被験者Aは殆ど低下していない。

4. 実験結果（高齢者）

高齢者に対する計測は、男子学生の計測終了後、全体的な傾向を把握した上で実施した。地域活動に参加している前向きで健康的な62歳～87歳の男女33名の協力を得て2日間で実施した。ウェイトは、男性は40kg（男子学生の最大荷重の2/3）、女性は30kg（同1/2である）で一定とし、一人当たり20分の計測（内、5分が実際のトレーニング負荷）とした。安全を考え、図9に示すように計測前に血圧の測定や、健康状態に関する問診も行った。

4.1 筋電位

高齢者は若年者と比べ、生活習慣や態度、過去の職業や疾病経験、家庭の事情など千差万別で計測データは大きくばらついており、一般的な傾向を述べることは困難である。したがって、多くの計測データについて逐一述べることは冗長になるため、ここでは代表的な3例を図10に示す。

図10(a)は79歳男性M氏の筋電位の計測結果である。同一の負荷40kg について若年者の計測データ図3(b)と比べると、

① 筋電位が若年者の3倍以上に高くなっている。

② 若年者が5分間ほぼ一定であるのに比べ、トレーニングの初めは高く次第に低くなっている。トレーニングマシンに不慣れで、後半少し慣れてきたものと考えられる。

③ 若年者ではヒラメ筋や大腿直筋に負荷が高いが、前脛骨筋や大腿二頭筋の負荷が高い。

④ 腓腹筋の負荷が最も小さい。

図10(b)は77歳の女性Nさんの計測結果である。この

(a) 20kg ウェイト

(b) 40kg ウェイト

(c) 60kg ウェイト

図8 皮膚温度計測結果（被験者A）

図9 計測スケジュール（高齢者）

場合は(a)と逆の傾向となり、時間とともに負荷が高くなり、大腿直筋が最大となっている。これに対し同図(c)の66歳の女性のケースでは筋負荷が少なく、時間的な変化も少なくなっている。

若年者の場合、被験者4人がほぼ同じ傾向であったのに比べ、高齢者では人によって使う筋肉に大きな差が見られた。若年者では、生体力学的にみて膝の屈伸に効果的な筋肉を使用しているが、高齢者では筋力に個人差があり、弱い筋を周りの筋が補っていることが考えられる。

図11に若年者と高齢者の筋電位のばらつきを示す。縦棒は平均値と標準偏差をとっている。図11(a)は男子大学生4名、(b)は高齢男性(68~87歳)10名、40kgウエイト、(c)は高齢女性(62~79)14名、30kgウエイトの計測データである。ここでは合計33名の被験者の内、計測結果に一部不適切のものが見られたがこれらを除き24名分とした。図より分かるように若年者と比べ高齢者、特に男性では全体的に筋電位は高い値となっており、ばらつきも多いが、高齢女性はやや若年者と傾向が似ており、比較的電位も低くばら

(a) 79歳男性

(b) 77歳女性

(c) 66歳女性

図10 筋電位計測結果(高齢者)

つきも少なくなっている。

4.2 脳波

高齢者では60歳頃から α 波の周波数が遅くなり(α 波の徐化)、6-8Hz未満の θ 波が多くなると言われている[6]。したがって若年者と同じように8-13Hzの範囲で比べると、高齢者の α 波含有率は少なくなる。一例として図10に示す3名の α 波含有率の時間経過を図12に示す。若年者と比べるとトレーニング時の落ち込みが大きいことが分かる。

図13(a)に α 波含有率の時間変化を全被験者について男女毎に平均して示す、同図(b)は年齢区分毎の計測値、同図(c)は運動経験の有無による区別をそれぞれ示す。若年者の結果(図4)と比べると下記の特徴が見られる。

- ① 若年者の α 波含有率が75~80%であるのに比べ、高齢者ではばらつきが大きく平均では30%程度しかない。
- ② 年齢による差は少ない。
- ③ 男女差や運動経験の有無で多少の差が認められる。

(a) 男子大学生

(b) 高齢男性

(c) 高齢女性

図11 筋電位のばらつき

また、時間経過で見ると、5分間にわたって変化の少ないもの、徐々に上がって行くもの、下がっていくもの、中間で上昇／下降のもの、など多彩である。

図12 脳波計測結果（高齢者、時系列）

(a) 性別

(b) 年齢別

(c) 運動経験別

図13 脳波計測結果（高齢者）

実験後の様子は、特段変化のない人も見られたが、多くの人は血色が良くなり、顔の表情も実験前の無口で少し緊張した不安げな態度から、快活で多弁になった。脳が活性化されたものと思われる。

4.3 皮膚温度

ここでは参考として、代表的な計測結果を、図10、図12と同じ被験者について、図14に例示する。図14(a)および(b)はほぼ同じ傾向であり、トレーニング間(0～5分)およびその前後で大きな温度変化が見られず、温度の平均値は若年者とほぼ同じく33℃程度である。一方、図14(c)では前額の温度はこれらとほぼ同じ値であるが、鼻頭の温度が安静時からかなり低く、トレーニングが開始されてから2℃

(a) 79 歳男性

(b) 77 歳女性

(c) 66 歳女性

図14 皮膚温度計測結果（高齢者）

以上の温度低下がありかつ時間の経過につれてさほど上昇していない。

筋電や脳波と同じく高齢者では個人差が多く、今後、解析が必要である。

5. 結 言

下肢の強化を目指したりハビリテーション訓練機器を使い、この使用時の生体情報を計測して、筋負荷と快適性との関係について検討した。若年者と高齢者を被験者とし、筋負荷は筋電位、快適性の評価には α 波の含有率と表面皮膚温度、追加として心拍数を計測した。得られた結論は下記である。

- (1) 若年層の筋電位の計測結果、膝の屈伸に関連したヒラメ筋と大腿直筋の負荷が高かったが、高齢者では負荷の筋肉部位にばらつきが多く見られた。
- (2) 脳波と鼻頭の皮膚温度の計測結果、身体の負荷が大きくなると、運動経験の差によってストレスに差が出ることがわかった。
- (3) ストレスの評価として α 波の成分と鼻頭の皮膚温度を計測することは効果的である。
- (4) 高齢者の生体情報はばらつきが多い。

今後引き続き計測データを詳細解析し、より一般的な結論を導きたい。

参 考 文 献

- [1] 中森義輝：感性データ解析，森北出版，2000
- [2] 奥本泰久，中村一美，筏井陽介，野波崇：生理計測による自動車用空調の快適性評価，近畿大学工学部研究報告，No.41，2007，pp.119-123
- [3] 奥本泰久，渡邊竜太：筋負荷が快適性に及ぼす影響に関する研究，日本機械学会中国四国支部第46期講演会，2008，pp.33-34
- [4] オーギー技研(株)ホームページ
<http://www.og-giken.co.jp/product/item/prevention/gx-110.html>
- [5] 藤正巖：サーモグラフィのための病態生理，最新医用サーモグラフィ，日本サーモロジー学会，1999，pp.16-28
- [6] 市川忠彦：新版 脳波の旅への誘い，星和書店，2008，pp.71

奥本 泰久 (正会員)

1965年 広島大学工学部卒，石川島播磨重工業(株)入社，1986年 工学博士（広島大学），1992年～現在 近畿大学工学部，助教授を経て教授，大学院システム工学研究科教授，工業技術研究所教授

研究内容：デジタルヒューマンモデルを使った福祉機器の開発設計，同作業性・安全性の研究

所属学会：日本機械学会，日本人間工学会，産業保健人間工学会等

中村 一美 (正会員)

1997年北海道大学大学院工学研究科修士課程修了，2001年同大学院医学研究科博士課程修了，博士（医学），室蘭工業大学SVBL講師（中核的研究機関研究員），広島市立大学情報科学部助手を経て，2005年より近畿大学工学部講師。

研究内容：生体工学，リハビリテーション医学に関する研究

所属学会：電子情報通信学会，日本バーチャルリアリティ学会等

坊岡 正之 (非会員)

経歴：文部科学省学位授与機構学士（工学），兵庫県立総合リハビリテーションセンター，大阪市職業リハビリテーションセンターで障害のある人の職業リハビリテーションに従事，福祉用具の研究開発等にも取り組む。

2002年～現在：広島国際大学医療福祉学部，助教授を経て教授
所属学会：日本福祉のまちづくり学会，日本生活支援工学会，介護福祉学会

高尾 文子 (非会員)

学歴：1977年 大阪市立大学大学院 生活科学研究科前期博士課程 修了，1990年 薬学博士（静岡薬科大学）

職歴：1977～1988 兵庫医科大学衛生学助手
1988～1998 武庫川女子大学等講師

1998～現在 広島国際大学 医療福祉学部 医療福祉学科教授

2004～現在 広島国際大学大学院総合人間科学研究科医療福祉学専攻教授
研究内容：生体レベルから社会、生態、大自然の各レベルにおけるヘルスプロモーションの展開

所属学会：日本サーモロジー学会，日本公衆衛生学会，ホリスティック医学協会等