

スマートスーツおよびスマートスーツライトによる 競走馬調教騎手の筋負担軽減

日下 聖^{*1}, 田中 孝之^{*2}, 齊藤 宗信^{*3}, 鈴木 善人^{*4}

Muscle Load Reduction for Racehorse Trainers by using Smart Suit and Smart

Takashi KUSAKA^{*1}, Takayuki TANAKA, Munenobu SAITO and Yoshihito SUZUKI

^{*1} Hokkaido Univ. Graduate School of Information Science and Technology
Kita 14, Nishi 9, Kita-ku, Sapporo, 060-0814, JAPAN

The authors have developed the smart suit and the smart suit lite as an assist suit for fatigue reduction. The smart suit has elastic materials and actuators. The elastic materials are sources of assisting force and the actuator can control the assist force by adjusting the length of the elastic materials. On the other hand, the smart suit lite has only elastic materials like supporters. In this study, we apply the smart suit and the smart suit lite to racehorse trainers because their work accompanied by a large burden. In the results, we confirmed large effect of fatigue reduction through field experiments.

Key Words : Power Assist, Semi-active Assist Mechanism, Keiroka

1. 緒 言

競走馬を扱う現場で働く人々にとって「腰痛」は一種の職業病とも言える。斎藤[1]や本田[2]によると、中腰になって行なう作業や重量物搬送等の重労働が多く、また騎乗する際にも膝や腰などに負担がかかり、加齢と共に騎乗が困難となる。そのような腰痛への対策として、十分な準備運動による予防とマッサージによるアフターケア、軟膏などによる治療が行われているが、その効果は十分とは言えず、技術を持っているにも拘わらず、騎乗できなくなる騎乗者が多い。豪州での Speed による調査でも、多くの騎乗者は40~45才までに引退しており、特に身体的な要因による所が大きい。現在活躍中の騎乗者でも32%が背中に、19%が腰部に痛みを訴えているという報告がある[3]。

そこで、著者らは軽量な筋力補助装置スマートスーツ（以下 SS）および筋力補助装置スマートスーツ・ライト（以下 SSL）を騎乗者の筋疲労軽減のために適用した。ここで、SS および SSL はいずれも弾性材としてゴムベルトを補助力源としたパワーアシストスーツであり、筋力と調和した補助力により装着者の筋負担軽減を行うものである。SS はアクチュエータにより、動作に合わせてアクティブに補助力を調整することが可能である[4]。また SSL は SS から電動モータを取り外したものである。長時間前屈姿勢を維持するような場合は頻繁に補助力を制御する必要はなく、装着最初に補助力オフセットを適切に調整することで SSL でも十分な補助効果が期待できる[5]。これまでの研究で、騎乗動作において SS

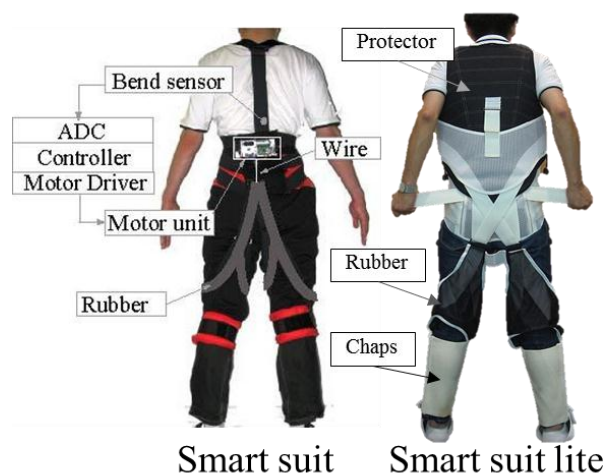


図 1 スマートスーツとスマートスーツライト

^{*1} 学生員, 北海道大学 大学院情報科学研究科 (〒060-0814 札幌市北区北 14 条西 9 丁目)

^{*2} 正員, 北海道大学 大学院情報科学研究科

^{*3} 非会員, 株式会社 スマートサポート

^{*4} 非会員, 株式会社 阿波屋庄兵衛

E-mail: taro@jsme.or.jp

および SSL を装着した実験を行っており、従来型 SSL 装着時には脊柱起立筋で 15%、大腿四頭筋で 58%、ハムストリングスで 10%の筋負担軽減効果があることを確認している[6]。一方で、これまでの SSL では、動作中に装置がずれることでゴムベルトからの補助力が十分に伝わらず補助効果が低減したり、装着時の違和感などに問題があった。調教騎手用スマートスーツでは、プロテクタやチャップスといった騎乗装具と SSL を一体化することで装着感について大幅に改善し、より競走馬調教に適した負担軽減装具の開発を行った。また、フィールド実験によりその負担軽減効果を確かめ、その有用性を検証した。

2. 調教騎手用スマートスーツとスマートスーツライト

著者らはこれまでに、弾性材と補助力調整機構からなる筋力補助装置 SS と、補助力調整機構を持たず手で補助力を調整する SSL を開発している[4][5]。SS および SSL を着用することによって、同じ作業を行う際の筋活動量が小さくなり、従来よりも楽に作業を行うことができるようになる。このような「パワーアシストスーツ」は古くから研究されており、現在、実用段階のものでは山海らの HAL[7]や、アクティブリンク社のパワーローダー[8]などのいわゆるロボットスーツが有名である。いずれも大きな増力効果を持つが、補助力源として大型の機械を装着するため適用範囲に限界がある。SS および SSL はそのような外骨格型ロボットスーツとは異なり、弾性材を補助力源として小型・軽量なため、より広い分野で活躍する可能性を持つパワーアシストスーツである。これまで騎乗動作の他、農作業や介護作業といった、大きな身体疲労を伴うが、大型の機械の適用が難しい作業において試験的に適用し十分な負担軽減効果を確認してきた。

図 1 に示すように SS の基本構造は腰部に固定したアクチュエータにより脚部に配置した弾性材の長さを調整することで、腰部を押し上げるような補助力を調整する。一方 SSL は、肩と膝とをゴムベルトでつないで、腰まわりでベルクロテープを用いて固定するものとなっている。腰まわりでベルトの固定位置を調整することで、装着者の体格に応じてゴム長さを合わせたり、作業負荷に応じてゴムの強さを調整できる。騎乗動作、農作業および介護作業などの分野で試験を行った結果、いずれの分野でも筋活動量の低下や体感的な疲労軽減など、その負担軽減効果が確認できた。しかしその一方で補助力を大きくすると弾性材による圧迫が強くなり装着感が悪く、装着に慣れるまでは違和感を感じるという声があった。

そこで、今回開発した調教騎手用 SSL は騎乗者が通常使用するプロテクタとチャップスに SSL を組み込むことでこの問題の解決をはかった。開発した調教騎手用 SSL を図 1 に示す。著者らがこれまでに開発してきた SSL と、プロテクタやチャップスといった騎乗装具を一体化している。これまでの SSL では弾性材の配置等の影響で、動作中に装着点がずれてしまい補助力が逃げてしまうという問題があったが、チャップスにより下腿と踵でしっかりと固定することでこの問題を解決した。また以前は肩部へ加わっていた圧力もプロテクタにより分散し、上体にしっかりと補助力を伝達することができる。騎乗者が普段から着用しているこれらの騎乗装具を用いることで装着感も大きく改善した。

3. 補助力のモデル化

図 2 に調教騎手用 SSL の補助メカニズムの概要を示す。SSL では弾性材を肩部まで伸ばしているため、腰部を押し上げる補助力の他に、肩を引き起こすような腰部伸展の補助力が働く。直立姿勢及び、腰関節を θ_w [deg] と股関節を θ_h [deg] だけ屈曲した前屈姿勢を表している。それぞれの関節の屈曲に従いゴムベルトが伸長し、上体を起こす方向に補助トルク τ_s が作用する。

$$\tau_s = rT_1 + rT_2 = \frac{6}{5} rK(\delta_w + \delta_h) \quad (1)$$

また、同時に腰まわりに固定したベルトを介して、体幹を安定化する締め付け力 T_s が作用する。

$$T_s = T_1 = \frac{2}{5} K(\delta_w + \delta_h) \quad (2)$$

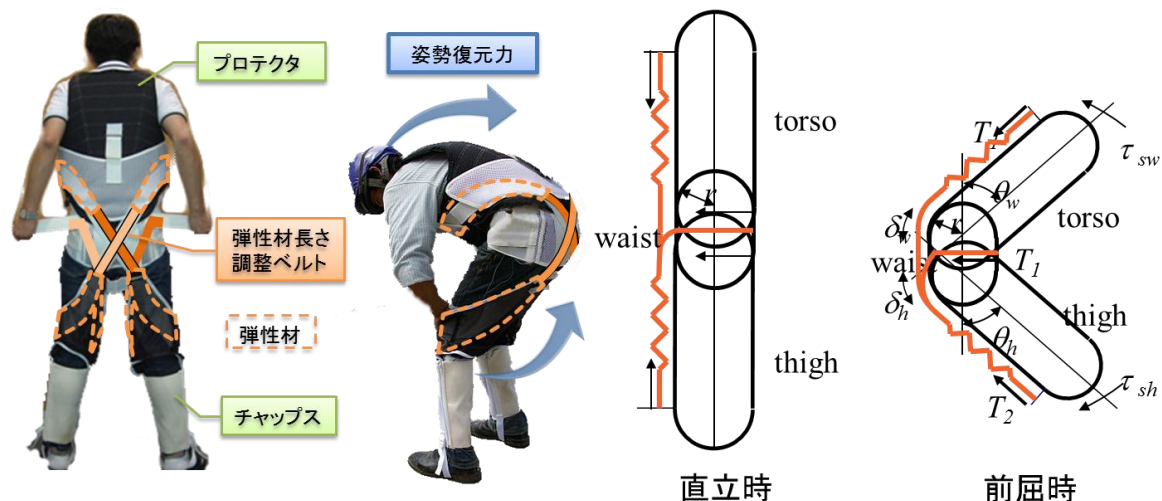


図 2 スマートスーツの補助力モデル

ここで δ_w , δ_h はそれぞれ腰関節, 股関節の屈曲に伴う体表面伸長量, r はモーメントアーム, K はゴムベルトの弾性係数である. 式(1)と式(2)から, 腰を深く曲げ辛い姿勢になるほど補助力と体幹安定化作用が共に強くなる.

図 3 に, 事前に計測した騎乗動作における腰関節角度を用いて, シミュレーションによって求めた騎乗動作に必要な腰関節の関節駆動トルクと SSL の補助トルク τ_s , 締め付け力 T_s を示す. 腰の角度に応じて補助トルクが増減し, それが騎乗者の必要とするトルクの増減と調和して, その一部を負担していることがわかる.

4. 実験

ここでは調教騎手用 SSL の実験について述べる. 開発した SSL の効果を検証するために, 北海道浦河町にあるチェスナットファームに協力してもらい, JRA 日高軽種馬育成調教センターの 800m トラック砂馬場にて, 実際の競走馬の調教での補助効果の検証実験を行った (2010 年 9 月). 実験は図 4 のように騎乗者 (45 歳, 男性) に調教騎手用 SSL を着用してもらい, 非着用時と着用時で合わせて 2 鞍の調教を行った. その際の騎乗者の表面筋電位を計測することで, 筋活動量の減少率により調教騎手用 SSL による負担軽減効果を確認した.

実験時の調教は, 図 5 に示すように 2 鞍とも同様のものであり, 馬の歩様を常歩から速歩, 駈歩, 襲歩と徐々に走行スピードを上げていくものである. 約 10 分間の計測において 1 鞍目は調教騎手用 SSL を着用しないで 3 周, 2 鞍目は調教騎手用 SSL を着用して 2 週の調教を行った.

実験条件を表 1 にまとめた. 計測には S&ME 製のポータブルタイプデータロガー DL-2000 を使用し, 図 6 に示すように脊柱起立筋, 大腿四頭筋, ハムストリングスの筋電位を計測した.

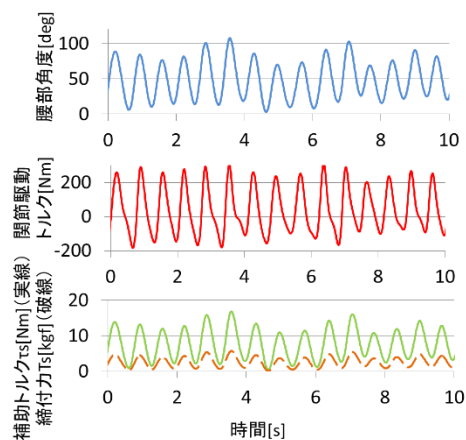


図 3 騎乗動作における腰関節角とその動作に対する関節駆動トルクと補助トルク・締め付け力のシミュレーション



図 4 調教騎手用 SSL を着用した騎乗者

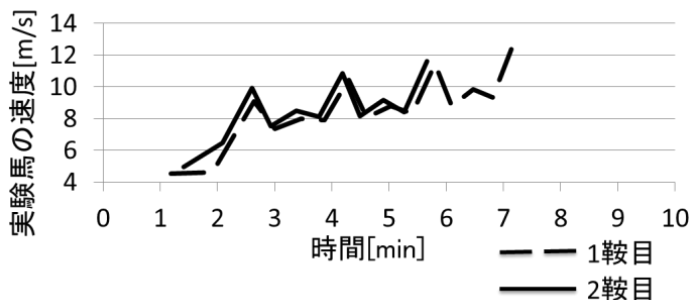


図 5 実験馬の速度

5. 結果と考察

駢歩時には馬から騎乗者へ伝わる振動が大きく、騎乗者の負担も大きい。そのため駢歩時に最も補助が必要であると考えられる。よって、実験馬の歩様が駢歩の時の解析を行った。

各部位の筋電位の計測結果の一部を図7に示す。図7の波形は振幅が大きいほど筋活動量が大きく、筋疲労度が高いことを示しており、全ての計測対象筋において、調教騎手用SSLの着用により筋活動量が低減していることが確認できた。

ここで、定量的な比較を行うために負担軽減率 η を(3)式のように筋電位の時間平均の比を用いてを定義する。

$$\eta = \left(1 - \frac{\frac{1}{T} \int_0^T V_{EMG} dt}{\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} V_{EMG0} dt} \right) \times 100[\%] \quad (3)$$

V_{EMG0} は調教騎手用SSLを着用していない時の筋電位、 V_{EMG} は着用したときの筋電位を表しており、 η が大きいほど負担軽減効果が大きいことを表す。

表 1 実験条件

1 鞍目：
<ul style="list-style-type: none"> ・実験馬 1： 牝馬（サラブレッド系 4 才） ・調教騎手用 SSL 無し
2 鞍目：
<ul style="list-style-type: none"> ・実験馬 2： 牝馬（サラブレッド系 4 才） ・調教騎手用 SSL 有り
計測時間：約 10 分間
筋電位計測部位：
<ol style="list-style-type: none"> 1. 脊柱起立筋 2. 大腿四頭筋 3. ハムストリングス

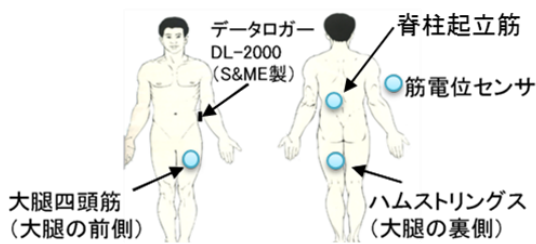


図 6 筋電位計測部位

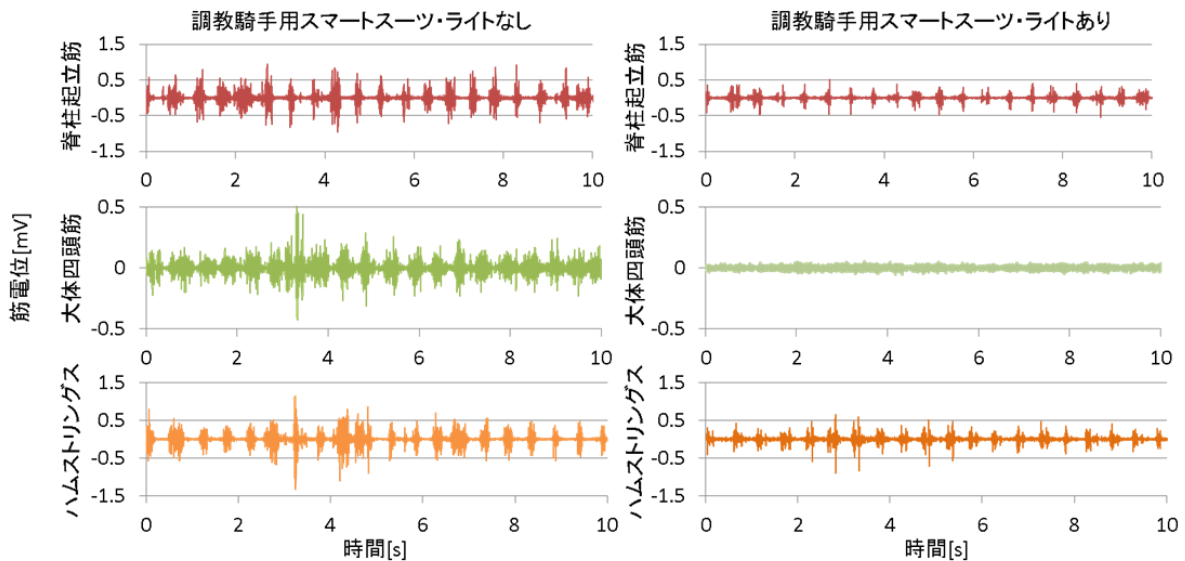
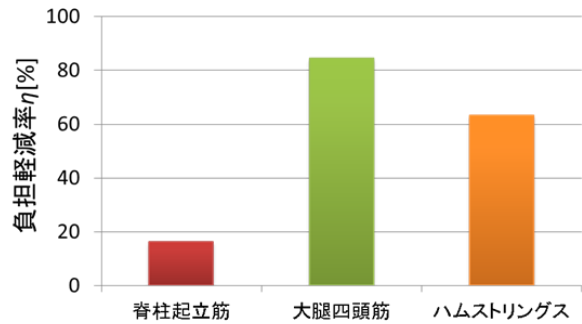


図 7 駢歩時の騎乗者の筋活動量

駢歩時を解析の対象とした結果、図8に示すように背中中の筋肉である脊柱起立筋、大腿の筋肉の大腿四頭筋、ハムストリングスでそれぞれ16.1%、84.5%、63.1%の筋負担軽減が見られた。計測した全ての筋肉において調教騎手用SSLの装着による負担軽減効果を確認することができた。

馬の歩様による補助効果の変化に関して解析し、計測時間すべてに渡る積分筋電図を図9に示した。この積分筋電図は事前に計測した最大随意筋力(MVC)で正規化したものである。また、最上段のグラフは調教時のビデオから算出した調教馬の走行速度を表している。計測開始から速度を徐々に速め、その後クールダウンして計測終了するまでの様子が筋電図からも読み取れる。特に、実験で解析対象とした駢歩よりも速い襲歩のような高速な歩様(図9、4分~7分)では脊柱起立筋における補助率 η が54%まで高まった。低速走行時には騎乗者は馬の動きを抑制する力を使うが、高速走行時には騎乗者は馬の動きに合わせて体を動かす。そのような走行時には、騎乗者は調教騎手用SSLに完全に体を預ければ上体が支えられるため、筋力をほとんど使わずに調教動作が行えるということが確認できた。

実験的に調べた結果、調教騎手用SSLが上体を起こす力 T_1 が7.5[kgf]に対し、人間が前屈したときに上体を支える力が10.0[kgf]であることから、上体を支えるのに十分な力が発揮できたことが明らかである。

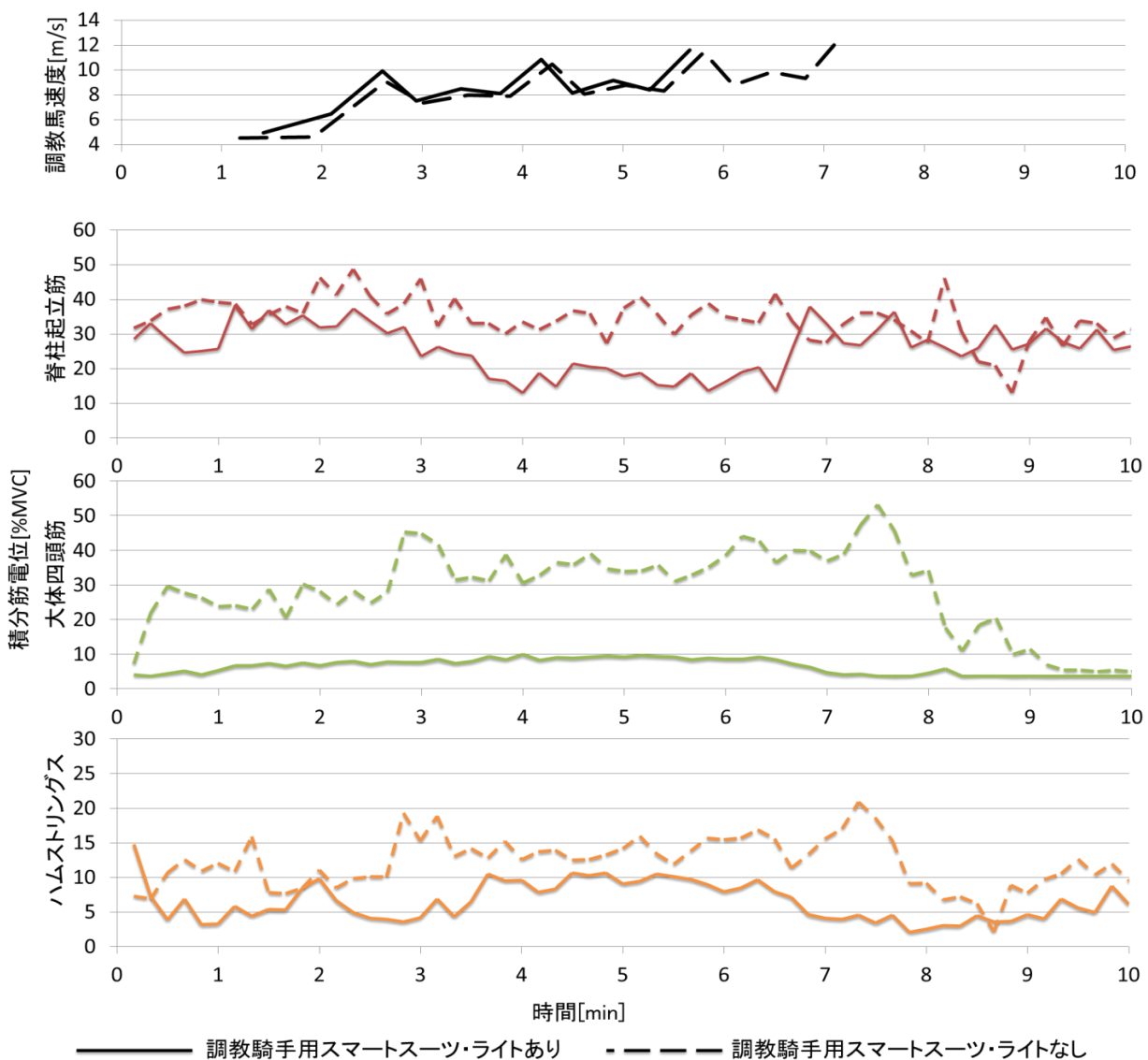


図9 全区間にわたる実験馬の速度変化と騎乗者の積分筋電図

このような実験馬の走行速度が変化した際の騎乗者の筋活動量の違いを確かめるために、横軸を実験馬の速度、縦軸を筋活動量としてプロットしたグラフを図10に示す。破線が調教用SSLを装着しない場合、実線が装着した場合を表す。グラフの傾きが速度に対する筋活動量の増加傾向を表す。破線の傾きは全て正であるため、調教騎手用SSLを着用しない場合は走行速度が速くなると全ての筋で筋活動量が増加しており傾きも大きい。しかし、調教騎手用SSLを着用した実線の場合は全ての筋で傾きが小さくなり、筋活動量の低下が見られた。特に脊柱起立筋では高速な走行になるほど筋活動量が低下する傾向を示した。運動負荷に対して筋活動量が低下しており、調教騎手用SSLの効果が大いことが示された。

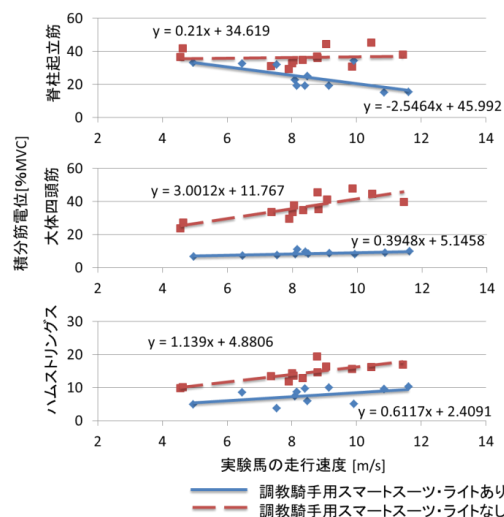


図10 走行速度に対する騎乗者の筋活動

6. 結言

実験では、調教騎手用SSLを装着することで大きな筋疲労軽減効果を確認した。装着感についても騎乗者のコメントから大幅に改善していることがわかった。また、騎乗者からは「体が動かされている感じがする」との感想を得た。これは構造的にゴムベルトが臀部をしっかりと押し上げるため、補助力が装着者へ効果的に伝達したものと考えられた。従来型SSLではゴムベルトの圧迫力のため装着感が悪く、補助力の強さと装着感はトレードオフであったが、調教騎手用SSLでは騎乗装具と一体化することで補助力が騎乗者に効率よく伝達し、圧迫感なく補助力の強化を実現したものと考えた。

また、筋活動量の評価からも調教の全ての区間において調教騎手用SSLを着用することで、より少ない筋活動で調教作業を行えたことがわかった。特に大腿四頭筋においては調教中もクールダウン後の安静時とほぼ変わらない筋活動量となっており、大きな負担軽減効果を得られていることを確認した。

謝辞

本研究の一部は、(独)日本学術振興会の特別研究員研究奨励費(課題番号23・1391)および(独)科学技術振興機構(JST)の研究開発事業【戦略的イノベーション創出推進プログラム】の支援を受けた。

文 献

- [1] 斎藤博幸, 牧場の四季. 北海道大学農学部技術部研究・技術報告1(1994), pp.34-37.
- [2] 本田雄大, 研修生のページ 薬品係. 財団法人 軽種馬育成調教センターニュース 68(2007), pp. 20-23.
- [3] Speed, H.D., 2007. The welfare of retired jockeys. Project Report. Victoria University. http://eprints.vu.edu.au/733/1/jockey_book_2007.pdf
- [4] Kusaka, T., Tanaka, T., Kaneko, S., Suzuki, Y., Saito, M. and Kajiwara, H. 2009. Assist Force Control of Smart Suit for Horse Trainer Considering Motion Synchronization. Int. J. Automation Technology3: 723-730
- [5] Imamura, Y., Tanaka, T., Kaneko, S., Yamanaka, M., Hotta D. 2010. Design of Passive Power Assist Device for Care Motions. Proc. of Asian Conference on Design and Digital Engineering 2010 (ACDDE 2010) : 957-962
- [6] 田中孝之, 斎藤宗信, 鈴木善人, 坂本直久. 2008. 競走馬調教軽労化のための騎手用筋力補助装置の開発. デザントスポーツ科学30 : 163-171.
- [7] 山海嘉之, 川村祐一郎, 岡村純平, 李秀雄. 2000. 筋電位を用いた歩行支援のための外骨格パワーアシストシステムHAL-1に関する研究. 日本機械学茨城講演会 講演論文集 : 269-270.
- [8] 城垣内剛. 2010. パワー増幅ロボットにおける操作者への過負荷を排除する機構設計. パナソニック技報 55 : 66-68.