

平成22年 6月15日現在

研究種目：基盤研究 (A)
研究期間：2006～2009
課題番号：18200042
研究課題名 (和文) 骨格筋の可塑機構における免疫系および組織幹細胞の役割解明とスポーツ科学への応用
研究課題名 (英文) Physiological role(s) of the immune system and tissue-specific stem cells in the plasticity of skeletal muscles -their application to the development of sports sciences-
研究代表者 吉岡 利忠 (YOSHIOKA TOSHITADA) 弘前学院大学・社会福祉学部・教授 研究者番号：50056933

研究成果の概要 (和文) : 骨格筋量や機能の維持は、健康・スポーツ領域はもちろん Quality of Life (QOL) の維持という予防医学の観点から重要なテーマである。しかし、骨格筋の萎縮や損傷による機能低下は様々な要因 (老化、疾病、事故など) により引き起こされることは明らかであるものの、その予防技術は未だ確立していない。本研究では免疫系と筋衛星細胞の役割に着目し、免疫系ならびに力学的ストレスを制御することで骨格筋量や機能の維持が可能であり、低下した骨格筋機能の回復・再生を促進させる有効な手段となることを明らかにした。

研究成果の概要 (英文) : Skeletal muscle has a large plasticity. The development of a countermeasure for the prevention of muscle atrophy, which is accompanied with the depressed contractile function, is one of important issues for the maintenance of physical activity and Quality of Life (QOL) in the preventive medicine as well as in Health and Sports Sciences. However, there is no effective countermeasure. The present study revealed that skeletal muscle plasticity could be regulated by the stimulations of both the immune systems and muscle specific stem cells, so called satellite cells. Evidences from the present study might be useful for the development of effective rehabilitations for the depressed muscle function in both atrophied and injured skeletal muscles.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	13,000,000	3,900,000	16,900,000
2007年度	9,400,000	2,820,000	12,220,000
2008年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2009年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
年度			
総計	34,300,000	10,290,000	44,590,000

研究分野：スポーツ科学・骨格筋生理学

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学

キーワード：骨格筋、可塑性、免疫、筋衛星細胞、シグナル伝達

1. 研究開始当初の背景

| 老化ならびに発育傷害やスポーツ活動中の

不慮の事故等による骨格筋線維の萎縮や機能低下は、Quality of Life の著しい低下を招く。さらに疾病など健康の維持に問題が生じ、医療費の増大につながる。したがって、予防介護の観点からも、骨格筋線維の萎縮や機能低下を抑制することは重要な課題である。同様に、健康・スポーツ領域においても、骨格筋量や機能の維持はきわめて重要である。

2. 研究の目的

本研究では、免疫系と筋衛星細胞の役割に着目し、骨格筋の萎縮や機能低下、ならびにそれらの回復・再生におけるマクロファージ、サイトカインおよび筋衛星細胞の役割解明を目指す。さらに、筋の回復・再生を助長させるための筋幹細胞の増殖・分化促進策を細胞内シグナルの視点から検討する。

3. 研究の方法

本研究は、実験動物（マウスおよびラット）を用いた *in vivo* 実験と培養骨格筋細胞を用いた *in vitro* 実験の2つの実験系により検討を行った。実験動物を用いた検討では、日本生理学会の作成したガイドライン「生理学領域における動物実験に関する基本指針」に基づき、聖マリアンナ医科大学大学院・実験動物飼育管理施設ならびに豊橋創造大学生命倫理委員会に承認を受けて実施された。

(1) 骨格筋の可塑性制御における免疫系の役割検討

後肢懸垂およびその後のケージ内飼育に伴う骨格筋の変化におけるマクロファージおよびマクロファージ由来の炎症性サイトカインであるインターロイキン6 (IL-6) の役割を追求した。前者の実験にはマクロファージコロニー刺激因子欠損 (*op/op*) マウスのヒラメ筋を使い、14 日間の後肢懸垂に対する筋の適応を検討した。さらに、培養骨格筋細胞を用いて、IL-6 受容体抗体 (MR 16-1、中外製薬) の投与により IL-6 受容体ブロックの影響を検討した。また、骨格筋肥大誘導時における IL-6 および nuclear factor- κ B (NF- κ B) の動態についても検討した。

(2) 骨格筋の可塑性制御における筋衛星細胞ならびに細胞内シグナルの検討

マウスおよびラットを用い、ヒラメ筋に cardiotoxin (CTX: 1 μ M, 0.1 mL) を筋注して筋損傷モデルを作成して検討を行った。検討項目は、荷重の除去が損傷骨格筋の再生に及ぼす影響について後肢懸垂モデルを用いての検討、荷重の増大が損傷骨格筋の再生に及ぼす影響について共同筋腱切除代による償

性肥大モデルを用いての検討、温熱負荷 (41°C、60 分) が損傷骨格筋の再生に及ぼす影響についての検討を行った。

(3) 骨格筋萎縮を抑制する因子の検討
筋肉が自己分泌する成長因子の1つである myostatin (MSTN) 機能を阻害した MSTN dominant negative (MSTN-DN) マウスを用いて検討を行った。MSTN-DN および wild type マウスに対して、CTX 筋注による筋損傷の影響、荷重除去による力学的ストレス減少の影響ならびに両者の組み合わせの影響について検討を行った。また、wild type ラットを用いて、抗酸化剤であるアスタキサンチン投与の影響ならびに加齢の影響について検討も行った。

(4) 主な分析方法

①筋衛星細胞の評価

連続凍結切片 (厚さ 7 μ m) を用いた免疫組織化学染色により Pax7 陽性核を検出し全筋核数当たりの Pax7 陽性核数の割合を算出した。

②細胞内シグナルの評価

筋タンパク質を抽出し、ウェスタンブロッティングによりターゲット分子の定量評価を行った。

③タンパク質発現の網羅的解析

プロテオーム解析により、骨格筋可塑性発現に伴うタンパク質の発現を網羅的に解析した。

4. 研究成果

(1) 骨格筋の可塑性制御における免疫系の役割

萎縮からの回復にマクロファージによる筋衛星細胞の活性化が必須であることが示唆された。これまで、筋衛星細胞の活性化に対するマクロファージの関与に関する報告はなく、本研究が初めての知見である。

マクロファージ由来の炎症性サイトカインである IL-6 の役割について IL-6 阻害薬を用いて検討した。その結果、IL-6 を阻害することで骨格筋の回復が抑制されることが明らかとなった。また、筋肥大時において活性化させる細胞内シグナルとして IL-6 および NF- κ B の関与が示唆された。

以上の検討から、骨格筋の萎縮や機能低下ならびにそれらの回復・再生においてマクロファージやサイトカインは重要な役割を演じていることが明らかとなった。また、筋収縮活動は、筋組織におけるサイトカイン分泌を促し、さらにサイトカインが筋衛星細胞を活性化することで筋再生を促すことあわせて示唆された。

(2) 骨格筋の可塑性制御における筋衛星細胞

胞の役割

力学的ストレスの除去により、損傷した骨格筋の再生は遅延化することが明らかとなった。逆に、力学的ストレスの負荷は、骨格筋の再生を促進した。したがって、骨格筋の再生には力学的ストレスが必要であることが示唆された。この力学的ストレスによる骨格筋再生能力の差異は、骨格筋組織幹細胞である筋衛星細胞の活性化が抑制されることに起因することから、筋衛星細胞の活性化は力学的ストレスに対して感受性を持つことが示唆された。また、この力学的ストレス除去による筋再生の遅延化には、内因性プロテアーゼインヒビターの発現増大が関与していることがプロテオーム解析により明らかとなった。さらに、温熱に対しても筋衛星細胞は感受性を持つことが示された。

(3) 骨格筋の可塑性制御に係る細胞内シグナル

筋肥大時において活性化させる細胞内シグナルとして IL-6 および nuclear factor- κ B (NF- κ B) の関与が示唆された。さらに、温熱刺激ならびにストレスタンパク誘導剤によるストレスタンパク質 (HSP72) の発現誘導が骨格筋細胞の分化を促進することが示された。さらに、HSP 誘導剤である geranylgeranylacetone (GGA) の投与により、筋細胞への分化が促進した。したがって、骨格筋肥大に係る細胞内シグナル伝達において HSP72 の関与が強く示唆された。

筋萎縮からの再成長において、ホスファチジルイノシトール 3 キナーゼ (PI3K) -Akt 系の活性化に伴うリボゾームでも mRNA 翻訳が増大することを明らかにした。また筋再生において、Akt-mTOR 系が活性化することを明らかにした。

(4) 骨格筋萎縮を抑制する因子

力学的ストレスの除去による損傷骨格筋における再生の遅延化は、ミオスタチン機能抑制により骨格筋組織幹細胞である筋衛星細胞が活性化して回復することを明らかにした。

老化や活動抑制による筋萎縮は、抗酸化物質の投与により抑制されることから、老化に伴う骨格筋萎縮には酸化ストレスの増大が関与していることが示唆された。さらに、熱ストレスは筋肥大効果だけでなく筋萎縮作用を有するが、その作用の一部にカルパイン系およびユビキチンプロテアソーム系によるタンパク分解系の抑制ならびに NF- κ B の抑制によるものであることが示唆された。

(5) 骨格筋の可塑性発現に伴うタンパク質発現

骨格筋の可塑性発現に伴って特異的に発

現するあるいは発現が変化するタンパク質の同定するためにプロテオーム解析を行った。その結果、骨格筋再生時に減少するスポットが 17 スポットあり、そのうち 7 スポットが完全に消失していた。一方、増加するスポットは 19 有り、内 7 スポットは筋再生時に特異的に出現した。また、温熱負荷による筋肥大時には多くのスポットで増減が認められた。中でも筋肥大に先立って増加する低分子量たんぱく質が同定された。

以上より、骨格筋組織幹細胞である筋衛星細胞の活性化は、免疫系ならびに力学的ストレスに対して感受性を持つことが示唆され、筋の回復・再生を助長させるための方策としての有効な細胞外刺激としての条件が明確となった。本研究の成果は、スポーツ傷害などにより退行性に機能低下を余儀なくされた骨格筋機能の回復促進策はもちろん、老化や活動量の抑制による骨格筋機能低下のためのカウンターメジャーの開発にもつながるものと期待できる。

また、本研究により、骨格筋量を維持向上させるシステムは、組織幹細胞ネットワーク、細胞間コミュニケーションおよび細胞内シグナル伝達系があることが明らかとなったが、これらの因子相互の調節機構ならびに遺伝子発現調節機構は明らかでなく、これらの解明が今後の検討課題であると考えている。

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 17 件)

- ① Kawano, F., Goto, K., Wang, X.D., Terada, M., Ohira, T., Nakai, N., Yoshioka, T., Ohira, Y., Role(s) of gravitational loading during developing period on the growth of rat soleus muscle fibers, *J. Appl. Physiol.*, 108, 676-685, 2010, 査読有
- ② 杉浦崇夫、芝口翼、吉原利典、山元勇樹、後藤勝正、内藤久士、吉岡利忠、萎縮ラットヒラメ筋のデスミン発現に及ぼす熱ストレス効果、*体力科学*, 59, 167-174, 2010, 査読有
- ③ 後藤勝正、大野善隆、杉浦崇夫、大平充宣、吉岡利忠、筋損傷の回復を遅延・促進させる要因の再検討、*青森県スポーツ医学研究会誌*, 18, 37-42, 2009, 査読有
- ④ Matsuba, Y., Goto, K., Morioka, S., Naito, T., Akema, T., Hashimoto, N., Sugiura, T., Ohira, Y., Beppu, M., Yoshioka, T., Gravitational unloading inhibits the regenerative potential of atrophied soleus muscle in mice, *Acta Physiol.*, 196, 329-339, 2009, 査読有

- ⑤Kurosaka, M., Naito, H., Ogura, Y., Kojima, A., Goto, K., Katamoto, S., Effects of voluntary wheel running on satellite cells in the rat plantaris muscle, *J. Sports Sci. Med.*, 8, 51-57, 2009, 査読有
- ⑥Naito, T., Goto, K., Morioka, S., Matsuba, Y., Akema, T., Sugiura, T., Ohira, Y., Beppu, M., Yoshioka, T., Administration of granulocyte colony-stimulating factor facilitates the regenerative process of injured mice skeletal muscle via the activation of Akt/GSK3 α β signals, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 105, 643-651, 2009, 査読有
- ⑦Morioka, S., Goto, K., Kojima, A., Naito, T., Matsuba, Y., Akema, T., Fujiya, H., Sugiura, T., Ohira, Y., Beppu, M., Aoki, H., Yoshioka, T., Functional Overloading Facilitates the Regeneration of Injured Soleus Muscles in Mice, *J. Physiol. Sci.*, 58, 397-404, 2008, 査読有
- ⑧芝口翼、杉浦崇夫、古本司、井上恒志郎、飯田義晴、磯山智美、内藤久士、後藤勝正、大森大二郎、吉岡利忠、長期間のアスタキサンチン摂取がサルコペニアに及ぼす影響、*体力科学*, 57, 541-552, 2008, 査読有
- ⑨Ohira, Y., Wang, X.D., Terada, M., Kawano, F., Matsuoka, Y., Higo, Y., Ohira, T., Kojima, A., Goto, K., Yoshioka, T., Investigation of the mechanism responsible for muscle atrophy and countermeasures in microgravity environment: Role(s) of mechanical load and/or satellite cells, *Proceedings of the 1st International Space Medicine Symposium 2007 in Sapporo*, 91-93, 2008, 査読無
- ⑩Goto, K., Kojima, A., Morioka, S., Naito, T., Akema, T., Matsuba, Y., Fujiya, H., Sugiura, T., Ohira, Y., Yoshioka, T., Geranylgeranylacetone induces heat shock protein 72 in skeletal muscles, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 358, 331-335, 2007, 査読有
- ⑪Goto, K., Oda, H., Morioka, S., Naito, T., Akema, T., Kato, H., Fujiya, H., Nakajima, Y., Sugiura, T., Ohira, Y., and Yoshioka, T.: Skeletal muscle hypertrophy induced by low-intensity exercise with heat-stress in healthy human subjects. *Jpn. J. Aerospace Environ. Med.*, 44: 13-18, 2007.
- ⑫Kojima, A., Goto, K., Morioka, S., Naito, T., Akema, T., Fujiya, H., Sugiura, T., Ohira, Y., Beppu, M., Aoki, H., Yoshioka, T., Heat stress facilitates the regeneration of injured skeletal muscle in rats, *J. Orthop. Sci.*, 12, 74-82, 2007, 査読有
- ⑬後藤勝正、大平充宣、宇宙環境暴露および老化による骨格筋の萎縮、*宇宙航空環境医学*, 44, 49-58, 2007, 査読有
- ⑭Sugiura, T., Ito, N., Goto, K., Naito, H., Yoshioka, T., Powers, S.K., Estrogen administration attenuates immobilization-induced skeletal muscle atrophy in male rats, *J. Physiol. Sci.*, 56, 393-399, 2006, 査読有
- [学会発表] (計 79 件)
- ①Goto, K., Sugiura, T., Ohira, Y., Yoshioka, T., Effects of loading and myostatin on the regeneration and regrowth of skeletal muscle in mice, 第 87 回日本生理学会大会, シンポジウム「Sophisticated organization of contractile apparatus in skeletal, cardiac and smooth muscles」, 2010 年 5 月 19 日~21 日、盛岡市民文化ホール (マリオス)、盛岡市。
- ②Goto, K., Ohno, Y., Nakai, A., Sugiura, T., Ohira, Y., Yoshioka, T., A physiological role of heat shock factor-related stress response in the regrowth of atrophied soleus muscle in mice, *Experimental Biology 2010*, 2010 年 4 月 24 日~28 日、Anaheim, California, USA.
- ③後藤勝正、大野善隆、杉浦崇夫、大平充宣、吉岡利忠、ストレス応答の修飾による骨格筋の可塑性発現に関する基礎的研究、平成 21 年度筋生理の集い, 2009 年 12 月 19 日、東京慈恵会医科大学。
- ④後藤勝正、杉浦崇夫、大平充宣、吉岡利忠、温熱刺激による筋萎縮防止または萎縮からの回復に及ぼす影響とヒト骨格筋の特性に与える効果、第 55 回日本宇宙航空環境医学会大会、シンポジウム「筋萎縮防止策としての温熱刺激」, 2009 年 11 月 12 日~14 日、岐阜県県民文化ホール未来会館、岐阜市。
- ⑤Goto, K., Ohno, Y., Nakai, A., Sugiura, T., Ohira, Y., Yoshioka, T., Effects of active heat shock factor 1 on skeletal muscle hypertrophy in mice, 23rd Annual Meeting of American Society for Gravitational and Space Biology, 2009 年 11 月 5 日~8 日、Raleigh, North Carolina, USA.
- ⑥後藤勝正、河野史倫、杉浦崇夫、大平充宣、吉岡利忠、発育期の抗重力活動が抗重力筋の発育・発達に及ぼす影響、第 64 回日本体力医学会大会、シンポジウム「発育期の運動が神経・筋の発育・発達に及ぼす影響」, 2009 年 9 月 18 日~20 日、朱鷺メッセ、新潟市。
- ⑦吉原利典、杉浦崇夫、芝口翼、山元勇樹、後藤勝正、磯山智美、内藤久士、大森大二郎、吉岡利忠、筋タンパク質分解系からみた熱ストレスとアスタキサンチン投与の組み合わせによる筋萎縮の抑制効果, 第 64

- 回日本体力医学会大会、2009年9月18日～20日、朱鷺メッセ、新潟市。
- ⑧芝口翼、杉浦崇夫、須藤みず紀、狩野豊、後藤勝正、吉岡利忠、伸張性収縮誘発性筋損傷からの回復過程におけるAkt-mTOR系の変化、64回日本体力医学会大会、2009年9月18日～20日、朱鷺メッセ、新潟市。
- ⑨Yoshioka, T., Goto, K., Ohno, Y., Hashimoto, N., Sugiura, T., Ohira, Y., Effects of Long-Term Inhibition of Myostatin on the Soleus Muscle under an Atrophic Condition, 38th European Muscle Conference, 2009年9月12日～16日、Lille, France.
- ⑩Goto, K., Ohno, Y., Nakai, A., Sugiura, T., Ohira, Y., Yoshioka, T., Possible role of heat shock factor 1 in loading-associated muscle hypertrophy of mice, 36th International Congress of Physiological Sciences (IUPS2009), 2009年7月27日～8月1日、京都国際会議場、京都市。
- ⑪後藤勝正、杉浦崇夫、大平充宣、吉岡利忠、骨格筋の可塑機構と温熱刺激、第17回日本運動生理学会大会、シンポジウム「骨格筋の可塑性」、2009年7月25日～26日、東京慈恵会医科大学。
- ⑫後藤勝正、杉浦崇夫、大平充宣、吉岡利忠、骨格筋の再生と再成長における筋衛星細胞の活性化機構に対する荷重の影響、第17回日本運動生理学会大会、2009年7月25日～26日、東京慈恵会医科大学。
- ⑬杉浦崇夫、芝口翼、後藤勝正、吉原利典、内藤久士、吉岡利忠、細胞骨格からみた熱ストレスによる筋萎縮抑制効果、第17回日本運動生理学会大会、2009年7月25日～26日、東京慈恵会医科大学。
- ⑭Goto, K., Ohno, Y., Hashimoto, N., Sugiura, T., Ohira, Y., Yoshioka, T., Inhibition of myostatin enhances the regenerative potential in atrophied muscle under unloading condition, Experimental Biology 2009, 2009年4月18日～22日、New Orleans, Louisiana, USA.
- ⑮後藤勝正、大野善隆、橋本有弘、杉浦崇夫、大平充宣、吉岡利忠、骨格筋の再生能に対するloadingとミオスタチン機能の影響、平成20年度筋生理の集い、2008年12月13日、東京慈恵会医科大学。
- ⑯Goto, K., Matsuba, Y., Ohno, Y., Sugiura, T., Hashimoto, N., Ohira, Y., Yoshioka, T., Effects of unloading on protein expression during the regeneration of injured soleus muscle of mice, The Integrative Biology of Exercise, 2008 APS Intersociety Meeting, 2008年9月24日～27日、Hilton Head, South Carolina, USA.
- ⑰後藤勝正、大野善隆、松葉祐介、杉浦崇夫、大平充宣、吉岡利忠、骨格筋再生における荷重の生理学的意義とタンパク質発現の網羅的解析、第63回日本体力医学会大会、2008年9月18日～20日、別府ビーコンプラザ、別府市。
- ⑱後藤勝正、杉浦崇夫、大平充宣、吉岡利忠、温熱を負荷した骨格筋のプロテオーム解析、第16回日本運動生理学会大会、2008年8月1日～3日、手塚山大学、奈良市。
- ⑲Goto, K., Matsuba, Y., Ohno, Y., Sugiura, T., Hashimoto, N., Ohira, Y., Yoshioka, T., Effects of loading or unloading on the regenerative potential of injured skeletal muscle in mice, Life in Space for Life on Earth, 29th Annual International Society for Gravitational Physiology Meeting, 10th ESA Life Sciences Symposium, 24th Annual American Society for Gravitational and Space Biology Meeting, The ELGRA Symposium, 2008年6月22日～27日、Angers, France.
- ⑳Naito, T., Goto, K., Morioka, S., Matuba, Y., Akema, T., Sugiura, T., Ohira, Y., Yoshioka, T., Effects of hindlimb immobilization on Akt and GSK-3 β signals in regeneration of injured mouse skeletal muscle, 第85回日本生理学会大会、2008年3月25日～27日、京王プラザホテル、東京。
- ㉑Matsuba, Y., Goto, K., Naito, T., Sugiura, T., Hashimoto, N., Ohira, Y., Yoshioka, T., Effects of loading/unloading on the regenerative potential of injured skeletal muscle in mice, 第85回日本生理学会大会、2008年3月25日～27日、京王プラザホテル、東京。
- ㉒Goto, K., Sugiura, T., Hashimoto, N., Ohira, Y., Yoshioka, T., Effects of gravitational loading on protein expression during the regeneration of injured soleus muscle of mice, 第85回日本生理学会大会、2008年3月25日～27日、京王プラザホテル、東京。
- ㉓内藤利仁、森岡成太、明間立雄、後藤勝正、杉浦崇夫、大平充宣、吉岡利忠、損傷骨格筋の再生に対する顆粒球コロニー刺激因子の促進作用、名取の階段踊り場談話会「筋肉の構造と機能のシンポジウム」、2008年3月24日、東京医科大学。
- ㉔松葉祐介、後藤勝正、杉浦崇夫、大平充宣、吉岡利忠、損傷した骨格筋の再生における筋活動の影響、名取の階段踊り場談話会「筋肉の構造と機能のシンポジウム」、2008年3月24日、東京医科大学。
- ㉕後藤勝正、杉浦崇夫、大平充宣、吉岡利忠、ストレスに対する骨格筋の応答、平成19年度筋生理の集い、2007年12月15日、東京慈恵会医科大学。
- ㉖Goto, K., Morioka, S., Naito, T., Kojima, A., Akema, T., Fujiya, H., Sugiura, T., Ohira, Y., Yoshioka, T., Geranylgeranylacetone increases

- protein content and heat shock protein 72 expression in skeletal muscle cells, 23rd Annual Meeting of American Society for Gravitational and Space Biology, 2007年10月25日～28日、NASA Ames Research Park, California, USA.
- ⑳ 後藤勝正、内藤利仁、松葉祐介、杉浦崇夫、大平充宣、吉岡利忠、骨格筋再生過程における小胞体ストレス、第62回日本体力医学会大会、2007年9月14日～16日、ノースアジア大学、秋田市。
- ㉑ Goto, K., Naito, T., Morioka, S., Kojima, A., Matsuba, Y., Sugiura, T., Ohira, Y., Yoshioka, T., Antiulcer drug geranylgeranylacetone facilitates the differentiation of skeletal muscle cells, World Conference of Stress, 3rd Cell Stress Society International Congress on Stress Responses in Biology and Medicine, 2007年8月23日～26日、Budapest, Hungary.
- ㉒ 後藤勝正、小島敦、森岡成太、内藤利仁、明間立雄、藤谷博人、杉浦崇夫、大平充宣、別府諸兄、青木治人、吉岡利忠、損傷骨格筋の再生に対する温熱ストレスの影響、第28回日本炎症・再生医学会、2007年8月2日～3日、京王プラザホテル、東京。
- ㉓ 内藤利仁、松葉祐介、後藤勝正、杉浦崇夫、吉岡利忠、損傷骨格筋の再生に及ぼすギプス固定および顆粒球コロニー刺激因子の影響、第15回日本運動生理学会大会、2007年7月26日～27日、ホテルニューキャッスル、弘前市。
- ㉔ Goto, K., Morioka, S., Naito, T., Kojima, A., Akema, T., Matsuba, Y., Fujiya, H., Sugiura, T., Ohira, Y., Yoshioka, T., Antiulcer drug geranylgeranylacetone induces heat shock protein 72 in skeletal muscle cells and its physiological significance in muscle physiology, 2007 FASEB Summer Research Conference “Skeletal Muscle Stem Cells and Stem Cells”, 2007年7月14日～19日、Indian Wells, California, USA.
- ㉕ Goto, K., Morioka, S., Naito, T., Akema, T., Matsuba, Y., Sugiura, T., Ohira, Y., Yoshioka, T., Effects of functional overloading on the regenerative potential of injured skeletal muscle in mice, 28th Annual International Gravitational Physiology Meeting, 2007年4月8日～13日、San Antonio, Texas, USA.
- ㉖ Morioka, S., Naito, T., Kojima, A., Akema, T., Goto, K., Sugiura, T., Ohira, Y., Yoshioka, T., Effects of denervation and heat-stress on the regenerative process of injured skeletal muscles, 第84回日本生理学会大会、2007年3月20日～22日、大阪国際交流センター、大阪市。
- ㉗ Yoshioka, T., Kojima, A., Morioka, S., Naito, T., Sugiura, T., Goto, K., Muscle hypertrophy induced by heat-stress with low-intensity exercise in healthy humans, 57th International Astronautical Congress, 2006年10月1日～6日、Valencia, Spain.
- ㉘ Goto, K., Morioka, S., Naito, T., Kojima, A., Akema, T., Sugiura, T., Ohira, Y., Yoshioka, T., Role of Akt-related signaling pathway in heat stress-associated muscle hypertrophy, Biochemistry of Exercise 13th International Conference, 2006年10月20日～23日、Seoul Olympic Parktel, Seoul, Korea.
- ㉙ 森岡茂太、内藤利仁、小島敦、明間立雄、後藤勝正、杉浦崇夫、大平充宣、吉岡利忠、過負荷ストレスによる骨格筋再生過程の変化、第61回日本体力医学会大会、2006年9月24日～26日、神戸国際会議場、神戸市。
- ㉚ 杉浦崇夫、後藤勝正、内藤久士、吉岡利忠、加齢による萎縮筋の回復過程における細胞内シグナル伝達の差異、第61回日本体力医学会大会、2006年9月24日～26日、神戸国際会議場、神戸市。
- ㉛ 杉浦崇夫、後藤勝正、内藤久士、吉岡利忠、発育期におけるラット骨格筋肥大に関するシグナル伝達系の変化、第14回日本運動生理学会大会、2006年7月29日～30日、広島大学東広島キャンパス。
- 〔図書〕(計2件)
- ① Goto, K., Ohira, Y., and Yoshioka, T.: Heat stress: A hypertrophic stimulus for skeletal muscles. Muscle Cell Physiology, Ohira, Y. (ed), p. 41-50, Osaka University Press, Osaka, 2009.
- ② 後藤勝正: 成長因子と筋肥大. 宮村実晴(編)、身体トレーニング - 運動生理学からみた身体機能の維持・向上 -, p. 154-161, 真興交易(株) 医書出版部、東京、2009年。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉岡 利忠 (YOSHIOKA TOSHITADA)
弘前学院大学・社会福祉学部・教授
研究者番号：50056933

(2) 研究分担者

後藤 勝正 (GOTO KATSUMASA)
豊橋創造大学・保健医療学部・教授
研究者番号：70239961
片桐 展子 (KATAGIRI NOBUKO)
弘前学院大学・看護学部・講師
研究者番号：30075428
(H22：連携研究者)