

第91回鹿屋体育大学学術研究会報告

「形は力を産み、力は形を造る」 —秩父宮記念スポーツ医・科学賞功労賞受賞記念講演—

福永哲夫*

2010年6月16日に日本体育協会より第13回秩父宮記念スポーツ医・科学賞功労賞を戴いた。大変名誉ある事だと感謝している。また、この受賞を記念して鹿屋体育大学で講演会（2010年6月30日）を開催していただいた。

この機会に、これまでの私の研究暦を振り返りつつ、一緒に研究してきていただいた多くの研究仲間に改めて感謝の気持ちを表わすとともに、これからの人生でお世話になる人々に、私の体育スポーツ科学に対するメッセージを表わせればと思い、筆を執るしだいである。

1. 第13回秩父宮記念スポーツ医・科学賞功労賞受賞に際して

まずは、受賞に際しての日本体育協会からの推薦文、および、私の受賞時の挨拶文を以下に記したいと思う。

……日本体育協会の推薦文……

福永哲夫氏は、1971年東京大学教育学研究科博士課程を修了し、1973～75年西ドイツ・ケルン体育大学スポーツ医学研究所に留学され、1973～1979年、中京大学体育学部助教授を経て、1979年、東京大学教養学部助教授に着任され、1990年に同学部教授となられた。23年間にわたり東京大学で教育・研究に邁進された後、2002年、早稲田大学人間科学部教授（後にスポーツ科学学術院教授）として移られ、2008年、鹿屋体育大学学長に就任され現在に至る。

福永氏は、1974年、「ヒトの絶対筋力」をテーマとする研究論文により、東京大学において教育学博士の学位を取得された。本論文は、ヒトの筋力は筋断面積に比例するという事象を、科学的エビデンスに基づき実証し、単なる学位論文の枠を超え、国内外のその後の筋の機能およびトレニ

ングに関する研究領域の進歩に誠に大きな功績をなした。その研究成果は今なお色あせることはなく、如何に特筆すべきものであるかは、被引用件数248回（2009年3月）という、ヒトの筋力を扱った研究としては異例の多さであることから裏付けられる。

福永氏は、学位取得後も旺盛に研究を継続され、単に研究業績が多い、ということだけではなく、ヒトの筋の形と機能に関する研究領域においては常に世界をリードされてきた。その最たるものとして、福永氏は、1990年前後、世界に先駆け、超音波法による筋線維動態に関する研究が挙げられる。それはヒトの筋肉や腱の動きを映像として取り出し、そのふるまいや特性を解析したものであり、ヒトの体の動きの発現メカニズムに迫る最先端の研究であった。この画期的な研究業績は、その後のこの分野における研究指針を与えるものとなり、国内外の研究者の圧倒的な支持を得た。その研究業績を称え、2003年、国際バイオメカニクス学会は、同学会最高の荣誉である「マイブリッジ賞」を福永氏に授与した。福永氏の研究活動は常に斬新であり、先駆的であり、多くの若手研究者の共感を得てきた。それは高度な教育モデルで

*鹿屋体育大学長

もあり、事実、氏の研究室は過去そして現在ともに優れた研究者を連綿として輩出している。

福永氏の研究業績が、国内外でいかに高い評価を得ているかについては、枚挙に遑はないが、氏の研究姿勢のなかで特筆すべきことは、常に研究成果の実践、応用をめざして取り組んでいる点である。例えば、筋肉の特性に関する研究、あるいは日本国民の身体組成に関する研究など一連の基礎的データに基づき、高齢者向けの介護予防運動プログラムを考案し、精力的にその普及に努めている。福永氏は、老化が筋肉の不足に由来することを説き、お金を貯める貯金に例え、筋肉を蓄えることを目的とした独自の運動処方を「貯筋運動」と命名した。現在、「使って貯めよう筋肉貯筋」というキャッチフレーズのもとに、日本の各地域の行政団体や体育・スポーツ団体と連携し、具体的なキャンペーン活動を積極的に展開している。

また、スポーツ界への実践的貢献も顕著である。1968年メキシコオリンピック対策の一環として行われた「高地トレーニングに関する研究」や札幌オリンピック対策の「アルペンスキーの競技力向上に関する研究」に大学院生として参画したのを初めとし、1997～2007年には日本体育協会スポーツ医・科学専門委員会委員を勤め、特に競技力向上に関する研究、ジュニア期の体力、スポーツ活動に関する研究などに多大な貢献をなした。さらに、日本体育協会公認スポーツ指導者育成事業の講師として長きにわたり尽力している。競技団体へのスポーツ科学活動も積極的にを行い、とりわけ1981～1999年には日本漕艇協会科学研究班の研究責任者として、競技力向上のための科学的サポートを指揮した。また、1988年に福永氏が初代会長となって立ち上げたトレーニング科学研究会（現在、日本トレーニング科学会）も、実践的スポーツ科学を目指した学会の先駆けとして特筆される。現在、トレーニング科学会は、日本学術会議に加盟するが、当初、あえて「学会」という名称を付けず、「研究会」としてスタートしたのも、スポーツ現場への間口を広げる意図からであった。

その他、日本バイオメカニクス学会会長、日本体育学会会長（現職）、日本学術会議会員など、主要な学会活動において要職を歴任し、現在、日本で唯一の国立の体育大学である、鹿屋体育大学の学長として、我が国の体育、スポーツ科学の学術的発展に日々尽力している。さらには、近年、従来の論文形式とは一線を画し、スポーツの実践活動にテーマを絞り、スポーツ実践に欠くことのできない画像データを多用し、ウェブ上で提供するジャーナル「スポーツパフォーマンス研究」を刊行している。そのユニークな活動は、「研究と実践」の両面に、バランスを取りつつ常に全力を尽くしてきた福永氏の面目躍如たるどころであるといえる。

以上、福永氏の学術的業績、学会活動やスポーツ界への貢献、ならびに教育者としての功績は、まことに本功労賞にふさわしいものといえる。

……福永による受賞時の挨拶……

本日は名誉ある秩父宮記念スポーツ医・科学賞を戴き心から御礼申し上げます。

受賞者を代表いたしまして一言御礼申し上げます。

私は1964年の東京オリンピック時に徳島県立小松島西高等学校に体育の教員として赴任いたしました。2年間の体育の教員をしながらトレーニング科学を本格的に勉強したくなり、1966年に東京大学大学院体育学研究室に入学し、猪飼先生のご指導の下にスポーツ科学の研究を始めました。

猪飼研究室で徹底的にスポーツ科学の研究手法を教え込まれて以来、卒業後約40年が過ぎましたが、この間、中京大学体育学部、東京大学教養学部体育研究室、早稲田大学スポーツ科学部を経て現在は鹿屋体育大学に勤務いたしております。特に、私の興味は人間の発揮する筋力の仕組みとトレーニング効果に関することであり、このテーマを中心に研究してまいりました。その間、先生方を初め、多くの気のいい研究仲間にも恵まれました。今回、秩父宮スポーツ医・科学賞功労賞を戴くこ

とになりましたが、この名誉ある賞はこれまで40年間一緒に研究してきた仲間の研究に対する表彰と考えております。今日のこの表彰をバネにさらに研究仲間とともにスポーツ科学の研究に精進したいと考えております。

本日はまことに有難う御座いました。

2. これまでの研究を振り返って

徳島県立小松島西高等学校の体育教師として体育の授業や部活動（陸上部）を経験しながら、スポーツ科学（特に筋力トレーニング）に興味を持ち、大学院（東京大学教育学研究科猪飼研究室）に進学した。研究（修士論文）は指導教官（猪飼道夫教授）の意向により、超音波による筋断面積測定に決まった。当時は、超音波、筋断面積と自分のやりたい筋力トレーニングとの関係が理解できず、研究への興味がわかず、修士論文作成まで随分と苦労した記憶がある。しかし、その頃から約40年間にわたり、超音波、筋力、トレーニングをキーワードに研究を行うことが出来たことは誠に幸運であった。

(1) 研究の概要

身体運動における、筋と腱の構造と機能との関係を見ると（図1）、解剖学的観点から考えて、



図1 「形は力を産み、力は形を造る」研究の内容（福永 原図）

筋（筋線維）の太さは力のポテンシャルであり、その長さは速度のポテンシャルである。力と速度の積はパワーであるので、太さと長さの積（体積は）パワーのポテンシャルと考えることが出来る。

古くは筋の太さなどの解剖学的な指標は屍体解剖などの手法により測定されてきたが、近年の生体画像計測法の開発（超音波法、MRI法など）により生体でより正確な解剖学的指標が計測されるようになってきた。

図2は私と研究仲間がこれまでに行ってきた研究の概要を示したものである。

生体の筋腱複合体の形状と機能との関係は複雑ではあるが、両者は密接な関係があり、その関係にトレーニングや発育、加齢などの環境条件が複雑に作用する。それらの関係を様々な測定手法（超音波法、MRI法、インピーダンス法、筋電図法、筋力計法など）を用いて分析統合する試みを行ってきた。

それらの個々の要素についての詳しい事象は夫々の研究誌に掲載されているのでここでは省略する。

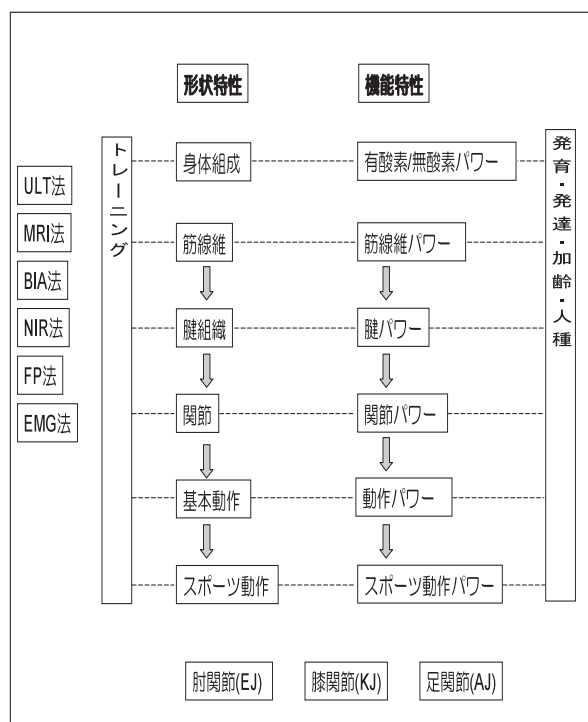


図2 ヒト生体の筋腱複合体に見られる形状特性と機能特性との関係にトレーニングと環境因子が影響してスポーツパフォーマンスが形成される（福永原図）

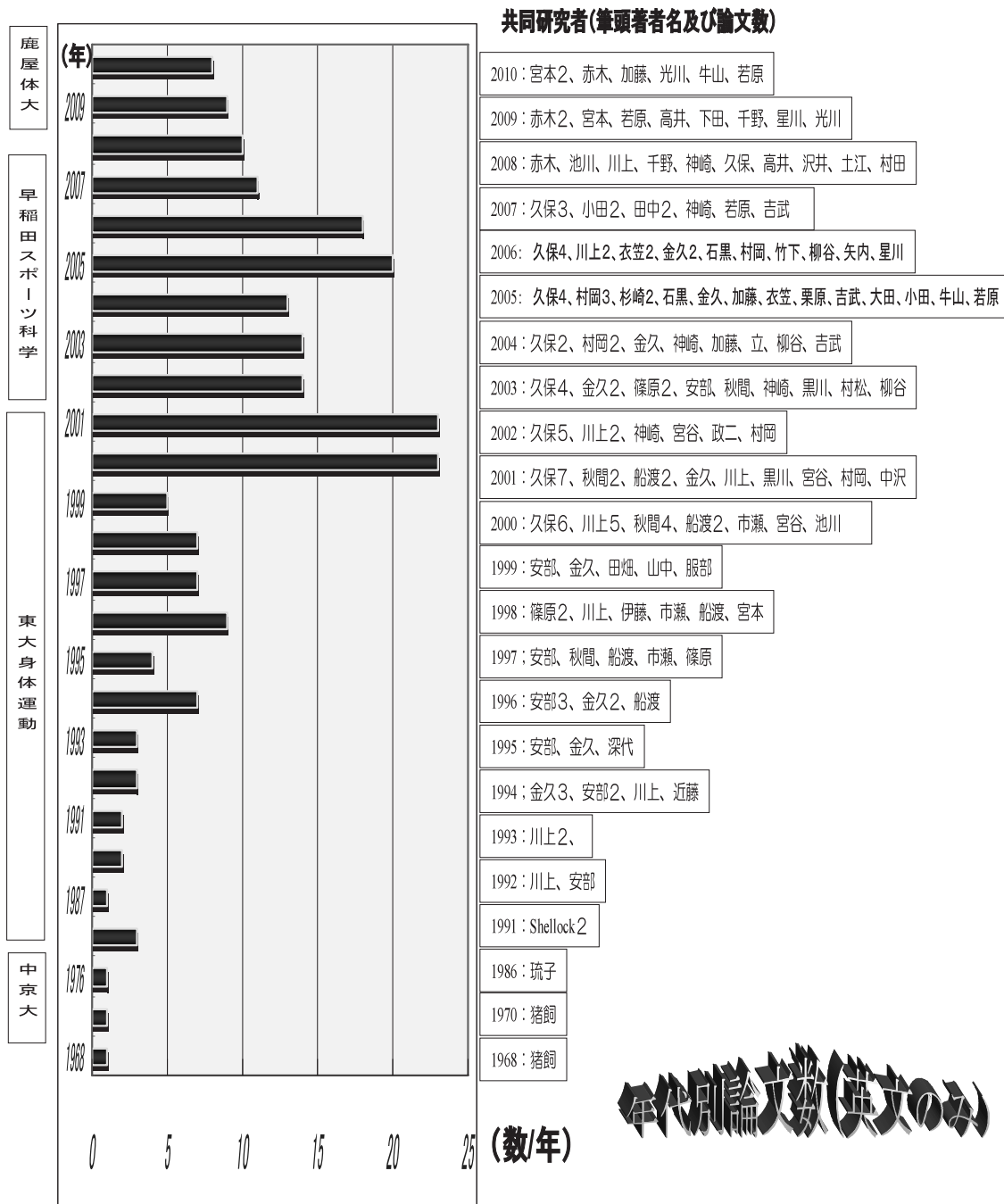


図3 年代別に見た英文論文の数および筆頭著者の推移 (福永原図) 著者名横の数字は論文数

その研究論文 (国際誌に掲載された英文論文) の一覧について年代別に示したのが図3である。

(2) 研究論文の概要

東京大学教育学部での助手時代 (30~32才) に恩師猪飼先生が急逝され、そのショックを引きずりながら中京大学体育学部にて赴任した。研究の指

導者を失ったショックは大きく、未だ半人前の研究しか出来ない状態を打破したく、ケルン体育大学スポーツ医学研究所への留学を決意した。「留学するなら国費留学生試験を受けていきなさい」と言われていた猪飼先生の意見に従い、西ドイツ国費留学生試験 (DAAD) を受け、合格することが出来た。2年間のケルン体育大学 (西ドイツ)

スポーツ医学研究所での研究（筋力と筋血流量との関係）を終え，中京大学での大学院生とともに実験の日々を過ごした。この頃の研究テーマは身体運動で発揮される機械的パワーとエネルギー代謝量との関係であり，機械的効率を運動技術に関連付ける実験を随分とした記憶がある。

東京大学教養学部保健体育科に赴任して（1978年，37歳）からは自分の修士論文と博士論文の追試に明け暮れ，超音波による筋断面積測定を性，年齢，競技選手などの様々な対象者のデータ収集を行った。その結果は，基本的に猪飼研究室で行った実験結果（修論，博論）と同じであったことから，安心するとともに測定法に自信が生まれてきた。振りかえれば，40歳くらいになってやっと研究者としての意識が芽生えてきたようである。

1980年代後半（40歳台）に入り，超音波法をそれまでの輪切りから縦切りにした結果，筋線維長，腱長などの新しい計測が可能になり，また，教養学部体育科に大学院が設置され（生命環境科学系）多くのすぐれた大学院生と実験が出来るようになり，急速に研究が進んだ。

60歳で東大を定年前（それまでの定年60歳が延長になった）に終え，早稲田大学人間科学部（その後，スポーツ科学部を設立）に異動した。体育の専門学生を対象にしたバイオメカニクスの授業は東大とは別の面白いやりがいのあるものであった。特に，ゼミ生を対象の時間が大変楽しいものであった。思いっきりスポーツ科学の実験に明け暮れることが出来た。

3. 実験結果を論文にすることの苦しみと充実感

最近では発表された論文の被引用回数が注目されてきている。そこで，これまでの共同研究者による論文（英文）の被引用回数（50回以上）を調べた結果が図4である。被引用回数が最も多いのはIkai and Fukunaga (Int z angew Physiol, 1968)で，295回である。この論文は修士論文提出した

論文の被引用回数（50回以上）

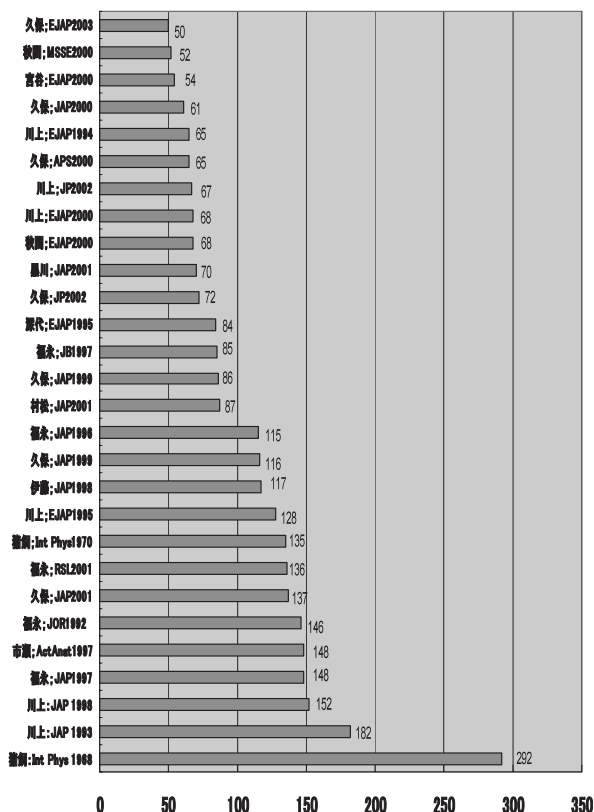


図4 論文の被引用回数（50回以上）（福永原図）
著者名の右横の数字は論文数を表わす。
（2010年9月現在）

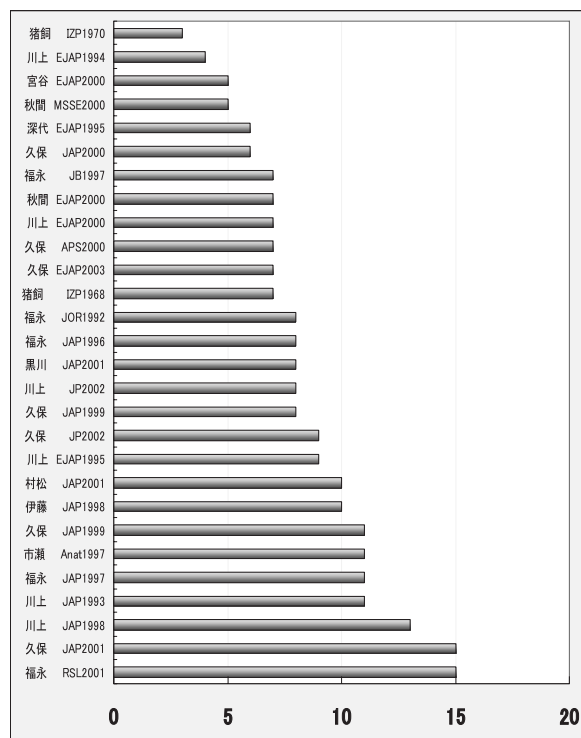


図5 年間の平均被引用回数（被引用回数を公表後から現在（2010年）までの年数で除した値）

(1967年12月25日) 翌日に猪飼先生から「英文にして欧文誌に投稿するように」との命令で、暮れ正月休みを返上して必死の思いで書き上げたものである。自分の文章は殆んど見られないほどに修正された事になったが、一応投稿にまでこぎつけたのは成人式(1月15日)の頃であった。筋力トレーニングで有名な Hettinger 先生が猪飼先生の友人であったこともあり、論文を丁寧にチェックしていただいた。そのお陰か、たいした苦労も無くアクセプトされて事は幸運でもあった。筋力が筋断面積に比例するという単純な論文であったが、筋断面積を超音波法で直接計測し、ヒト生体での筋断面積を始めて測定できたことの獨創性が認められたことであった。その後も数多く引用されることになったが、当時の猪飼先生の先を見る目の確かさを今になって理解できた。

1980年代に入り生体での横断面像を計測する新しい装置が開発されてきた。CT法やMRI法で

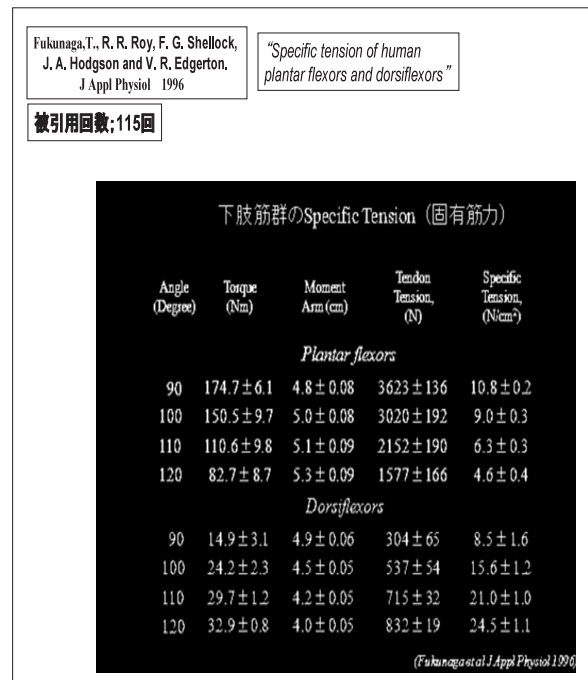


図8 足底屈筋および足背屈筋の生理学的断面積から固有筋力を求めた論文

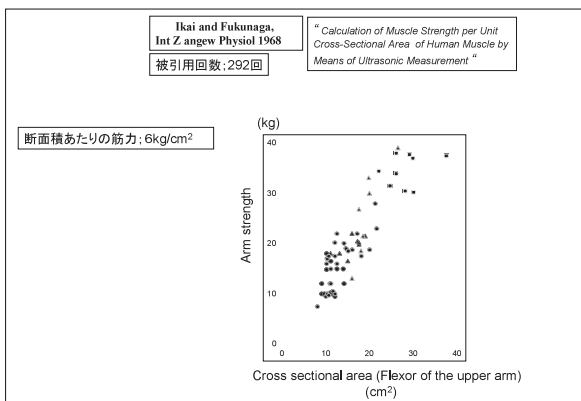


図6 超音波法により筋力が筋断面積に比例する事を明らかにした論文

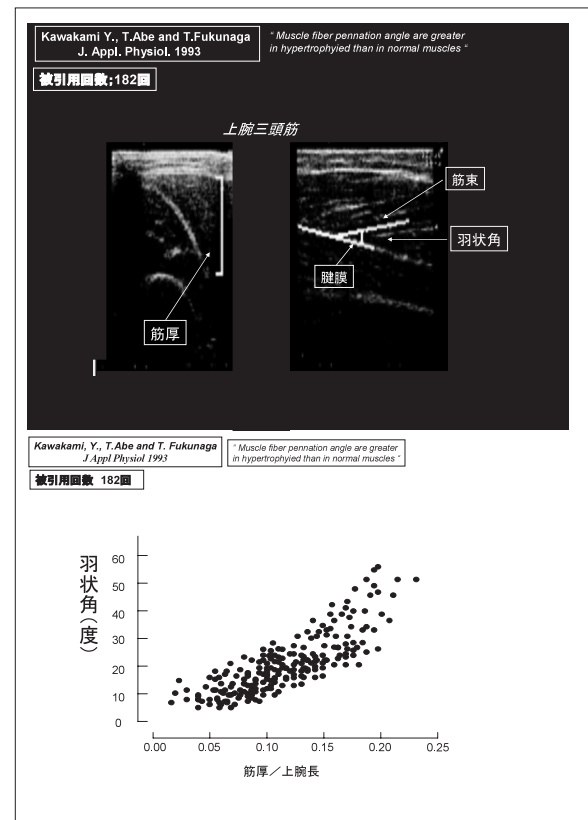


図9 超音波法により羽状角を定量し筋厚との関係を明らかにした論文

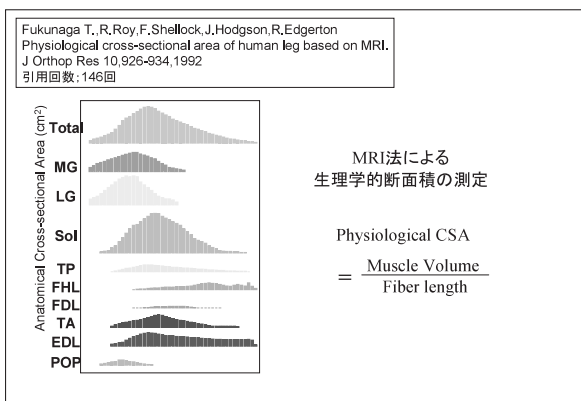


図7 MRI法により下腿筋の生理学的断面積を求めた論文

ある。この方法の開発はそれまでには考えられないような高い精度での体内情報が画像で見られるようになった。超音波で輪切り画像を撮る限界を感じ，他に超音波法の将来を考え始めた。1989年に文部省在外研究員としての1年間のサバティカルが得られ，UCLAのEdgerton教授の研究室でMRIの研究をすることが出来た。久しぶりに下腿，大腿の断面像(MRI)を撮りまくり，分析の毎日で1年間を過ごした。その結果，長年の夢であった生理学的断面積の定量に成功することが出来(JOR1992, 被引用回数146回)，更に，固有筋力の測定にまで進むことが出来た(JAP1997, 被引用回数147回)。

次に，被引用回数が多い論文がKawakami, Y., T.Abe and T.Fukunaga (J Appl Physiol 1993)で，182回である。この研究は超音波法を従来の横断面画像から縦断面画像に変えて機能との関係を見

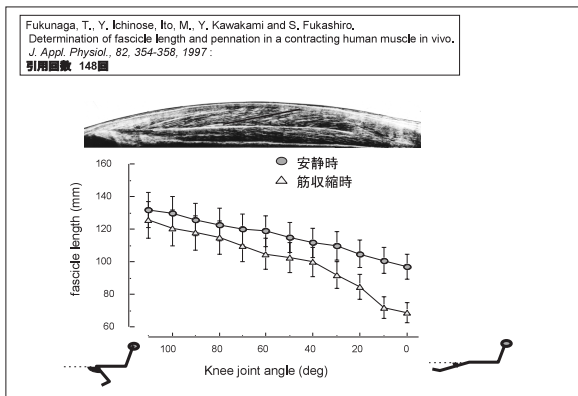


図10 関節角度の変化により筋線維長が変化することを明らかにした論文

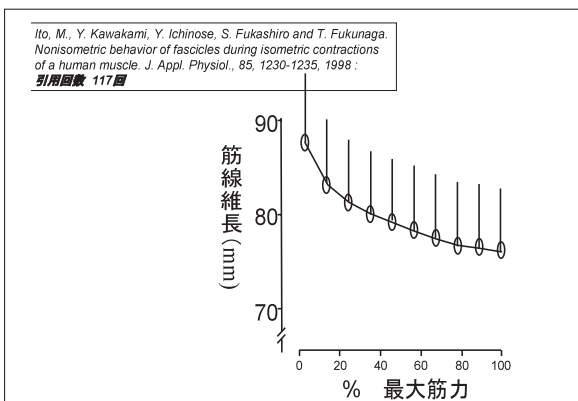


図11 等尺性収縮中に筋線維が短縮することを明らかにした論文

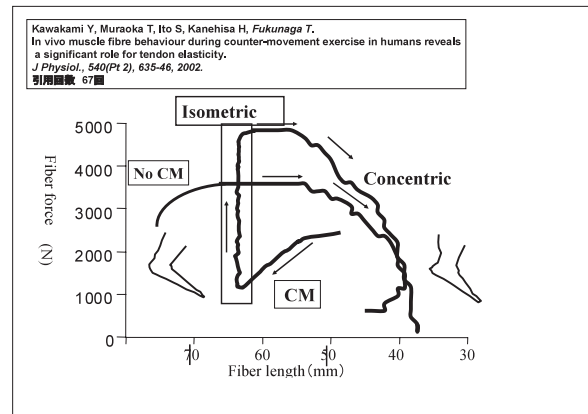


図12 反動動作中に筋線維が等尺性収縮による筋力発揮する事により力の増大が見られることを見た論文

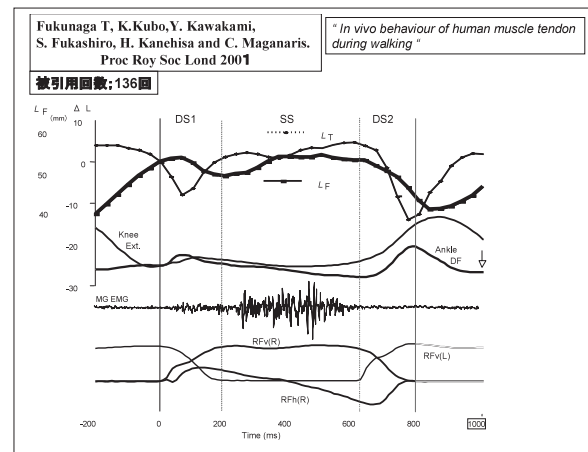


図13 歩行運動中の筋線維と腱組織の動態を明らかにし，筋線維が等尺性収縮により筋力発揮することを明らかにした論文

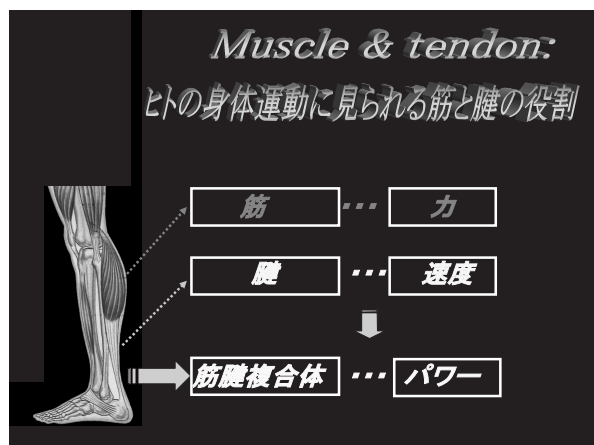


図14 大まかに考えて，筋線維は力を出す器官として，腱組織が速度を生み出す器官として機能し，筋腱複合体としてパワーを出力することが出来ると考えられる。

ようとした画期的な一歩を踏み出したものであった。1980年代には超音波を輪切りにのみ利用する方法で、ひたすら断面積測定精度を上げることに注意を集中していたが、80年代半ばからX線CT法が開発され非常に精度の高い断面画像が発表されるようになった。更に、80年代後半に入りMRI法が開発され、見る見るうちに生体での画像診断法が進歩してきた。この環境は超音波を断面画像に求めるには勝負にならないと思ひ、方向転換を考えることを余儀なくされてきた。その結果、筋線維（筋束）の走行方向と腱組織の走行方向を定量することが可能になり、力の伝達効率を考えることが出来るようになった。

その後、関節角度と筋線維長 (Fukunaga et al JAP 1997, 被引用回数148回), 等尺性筋収縮中の筋線維長変化 (Ito et al JAP 1998, 被引用回数117回), 動的筋力発揮中の筋線維長変化 (Ichinose et al Anat Rec 1997, 被引用回数148回), 歩行中の筋線維と腱組織の動態 (Fukunaga et al Proc Roy Soc Lond 2001, 被引用回数136回) など数々の面白いテーマに発展することが出来た。更に、腱と筋線維との接合部が超音波画像で確認できることから腱組織の伸長量が測定できることが明らかになり (Fukashiro et al JAP 1995, 被引用回数84回), 腱の粘弾性特性を定量する試みが久保を中心に精力的に進められた。弾性特性と運動パフォーマンスとの関係 (Kubo et al JAP 2001, 被引用回数137回, JAP 1999, 被引用回数116回), トレーニングによる弾性特性の変化 (Kubo et al JAP 2002, 被引用回数72) などに発展していった。

4. おわりに

これまでの研究生活を振り返り、ヒトの骨格筋の機能と構造に興味を持ち、実直に測定を繰り返してきたように思われる。人間が生きていくうえで動くことの重要性は誰もが考えることではあるが、その動くことの元は頭で考えて筋肉を収縮させることである。そのメカニズムは案外複雑で、

環境条件により著しく影響されることがこの領域の研究の深さと難しさを滲み出させている。我々体育スポーツ科学を専門にしているものにとって、「人間が動くこと」への科学的アプローチは興味が尽きないところがある。つい先日 (2010年11月24日) かつて猪飼研究室と一緒に実験していた先輩の矢部さん (名古屋大学名誉教授) に鹿屋に来ていただき電気刺激実験を行った。1965年頃に行っていた実験と同じ手順で実験した結果、45年前と同じようなデータが出たときは何故か大感激だった。当時の確かな実験手順を開発した矢部先輩の能力に敬意を表すとともに、実験のアイデアを出したであろう猪飼先生の先を見る目の凄さに改めて感服したしだいである。いつの世でも追試に耐えられる研究をしたいものである。

福永関係研究の概要

身体組成の測定法に関する研究

バイオインピーダンス法 (BIA法) MRI法, 超音波法を用いて, 身体各セグメントの筋量及び脂肪量を測定し, その分布パターンを明らかにするとともに, 筋量推定の簡易法を開発した。

スポーツ競技選手の身体組成と筋機能特性

オリンピック日本代表選手など一流スポーツ競技選手を対象に身体各部位の筋厚, 皮下脂肪厚分布パターンを測定し, その競技種目別差異を明らかにした。さらに, スポーツ競技選手の脚筋力や脚伸展パワーを測定し, スポーツトレーニングが筋力や筋パワーに及ぼす影響を明らかにした。

高齢者の身体組成と筋腱特性に関する研究

身体各部位の皮下脂肪厚及び筋厚分布を測定し, 皮下脂肪/筋分布パターンに及ぼす性, 年齢の影響を明らかにした。加齢とともに走パワーの低下が著しく, 70歳では20歳代の30%くらいまでパワーの低下が見られた。その原因として大腿四頭筋群の萎縮による脚筋力の低下が歩幅の減少を引き起こし, 走パワー, 及び走速度の減少を引き起こしていることが明らかになった。

身体不活動（ベッドレスト）に伴う筋の形状と機能の変化に関する研究

3週間のベッドレストによる身体不活動により筋が萎縮し，筋力が低下するが，特に，大腿四頭筋の萎縮が最も著しく，上肢の筋萎縮はほとんど見られなかった。一方，ベッドレスト中に適切なレジスタンストレーニングを実施した結果，筋萎縮及び固有筋力の低下を予防できた。この結果は，筋収縮による適切な筋活動により筋萎縮が予防できることを示すものであった。

筋腱複合体の粘弾性特性に関する研究

関節は筋線維と腱とで構成されている。筋線維の収縮により発揮した張力（筋力）は腱に伝達され関節の運動を引き起こす。このとき，腱の弾性特性が関節のパフォーマンスに大きな影響を与えることが明らかになった。

筋力トレーニングと腱粘弾性特性に関する研究

筋力トレーニングにより腱の弾性特性が変化することが明らかになった。静的筋力発揮を長時間持続するレジスタンストレーニングを3ヶ月間実施した結果，大腿四頭筋のスティッフネスが増加することが明らかになった。一方，ストレッチングの長期間実施によりヒステレシス（粘性）の減少が見られた。

筋腱複合体のダイナミクスに関する研究

筋が収縮するときの筋線維と腱組織の動態を超音波法によりリアルタイムで観察することが可能になった。その結果，静的筋力発揮時（関節を固定した状態で筋力を発揮するとき）に腱組織が伸長し，筋線維は短縮する傾向が見られた。一方で，跳躍などの動的に関節角度が変化する運動においては腱が伸長し，筋線維は長さがほぼ一定で筋力を発揮している事が様々な身体運動中に観察された。つまり，等尺性収縮による筋力発揮が行われていることを意味するものであった。

身体運動中の筋腱複合体の動態に関する研究

超音波を用いてヒト身体運動中の筋線維と腱組織の動態を測定するための方法を開発した。この方法により，垂直跳び動作中及び歩行動作中の下

腿三頭筋の筋線維長及び腱長の変化を測定することが出来た。その結果，垂直跳び動作中の最も筋収縮が強い離地直前には筋線維長はその長さがほとんど変化無く，一方，腱組織が著しく伸長している事が観察された。

筋力の調整に関する研究

一定の筋力発揮中の力の調整をつかさどる神経筋のメカニズムを明らかにするために，膝関節伸展筋，足関節底屈筋の筋電図を測定した。膝伸展筋力発揮中に大腿直筋と外側広筋との間で活動交代が見られた。この傾向は非常に低強度での膝伸展筋力発揮中に見られることが特徴的であった。この共同筋の活動交代は筋疲労と密接な関係があることが明らかになった。

エルゴメータの開発に関する研究

ヒトの身体運動は様々な関節が複合的に作用することにより成り立つ。例えば，歩行動作中には足，膝，股等の多くの関節の屈曲／伸展，内転／外転などの動作が絡み合って，身体運動が形成される。そこで，複数の関節の運動のパワーを測定するためのエルゴメータを開発した。その装置を用いて様々な身体運動中の機械的パワーを測定し，単関節動作パワーとの関係を明らかにすることから，身体運動のメカニズムを明らかにすることが可能であった。

福永関係論文の被引用回数（1編20回以上）

（注；図4，5の被引用回数とは調査日の関係で少し値が異なります）

記入日；2010年12月1日

1. Ikai, M. and T. Fukunaga. Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. *Int. Z. Angew. Physiol.*, 26, 26-32, 1968 :

被引用回数 309回

2. Kawakami, Y., T. Abe and T. Fukunaga. Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. *J. Appl. Physiol.*, 74, 2740-2744, 1993 :

- 被引用回数 174回
3. Kawakami, Y., Y. Ichinose and T. Fukunaga. Architectural and functional features of human triceps surae muscles during contraction. *J. Appl. Physiol.*, 85, 398-404, 1998 :
被引用回数 155回
4. Fukunaga, T. R. R. Roy, F. G. Shellock, J. A. Hodgson, M. K. Day, P. L. Lee, H. Kwongfu and V. R. Edgerton. Physiological cross-sectional area of human leg muscles based on magnetic-resonance-imaging. *J. Orthop. Res.*, 10, 926-934, 1992 :
被引用回数 153回
5. Kubo K., H. Kanehisa, Y. Kawakami and T. Fukunaga. Influence of static stretching on viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J. Appl. Physiol.*, 90, 520-527, 2001.
被引用回数 149回
6. Fukunaga, T., Y. Ichinose, Ito, M., Y. Kawakami and S. Fukashiro. Determination of fascicle length and pennation in a contracting human muscle in vivo. *J. Appl. Physiol.*, 82, 354-358, 1997 :
被引用回数 147回
7. M Ikai, and T Fukunaga. A Study on Training Effect on Strength Per Unit Cross-Sectional Area of Muscle by Means of Ultrasonic Measurement. *Int. Z. angew Physiol.* 28 173-180, 1970.
被引用回数 138回
8. Fukunaga T, Kubo K, Kawakami Y, Fukashiro S, Kanehisa H, Maganaris CN; In vivo behavior of human muscle tendon during walking. *Proc Roy Soc London* 1464, 229-233, 2001
被引用回数 137回
9. Fukunaga, T., R. R. Roy, F. G. Shellock, J. A. Hodgson and V. R. Edgerton. Specific tension of human plantar flexors and dorsiflexors. *J. Appl. Physiol.*, 80, 158-165, 1996 :
被引用回数 127回
10. Kubo, K., Y. Kawakami and T. Fukunaga. Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans. *J. Appl. Physiol.*, 87, 2090-2096, 1999 :
被引用回数 119回
11. Ito, M., Y. Kawakami, Y. Ichinose, S. Fukashiro and T. Fukunaga. Nonisometric behavior of fascicles during isometric contractions of a human muscle. *J. Appl. Physiol.*, 85, 1230-1235, 1998 :
被引用回数 112回
12. Muramatsu T, T. Muraoka, D. Takeshita, Y. Kawakami Y. Hirano and T. Fukunaga. Mechanical properties of tendon and aponeurosis of human gastrocnemius muscle in vivo. *J. Appl. Physiol.*, 90, 1671-1678, 2001.
被引用回数 89回
13. Shellock, F., T. Fukunaga, J. H. Mink and V. R. Edgerton. Exertional muscle injury: Evaluation of concentric versus eccentric actions with serial MR imaging. *Radiology*, 179, 659-664, 1991.
被引用回数 89回
14. Fukashiro, S., M. Itoh, Y. Ichinose, Y. Kawakami and T. Fukunaga. Ultrasonography gives directly but noninvasively elastic characteristic of human tendon in vivo. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Phys.*, 71, 555-557, 1995 :
被引用回数 84回
15. Fukunaga, T., Y. Kawakami, S. Kuno, K. Funato and S. Fukashiro. Muscle architecture and function in humans. *J. Biomech.*, 30, 457-463, 1997 :
被引用回数 83回
16. Kawakami, Y., T. Abe, S. Kuno and T. Fukunaga. Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Phys.*, 72, 37-43, 1995 :
被引用回数 80回
17. Kubo, K, Kanehisa, H, and Fukunaga, T. Effects of resistance and stretching training programs on the viscoelastic properties of tendon structures in vivo. *J Physiol*, 538, 219-226, 2002.
被引用回数 74回
18. Kubo K, H. Kanehisa, M. Ito and T. Fukunaga. Effects of isometric training on the elasticity of human tendon structures in vivo. *J. Appl. Physiol.*, 91, 26-32, 2000.
被引用回数 69回
19. Nakazawa, K., Y. Kawakami, T. Fukunaga, H. Yano and M. Miyashita. Differences in activation patterns in elbow flexor muscles during isometric, concentric and eccentric contractions. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Phys.*, 66, 214-220, 1993 :
被引用回数 67回
20. Kawakami Y, Muraoka T, Ito S, Kanehisa H, Fukunaga T. In vivo muscle fibre behaviour during counter-movement exercise in humans reveals a significant role for tendon elasticity. *J Physiol.*, 540(Pt 2), 635-46, 2002.
被引用回数 65回
21. Kawakami, Y., K. Nakazawa, T. Fujimoto, D. Nozaki, M. Miyashita and T. Fukunaga. Specific tension of elbow flexor and extensor muscles based on magnetic-resonance-imaging. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Phys.*, 68, 139-147, 1994 :

- 被引用回数 65回
22. Shellock, F., T. Fukunaga, J. Mink, and R. Edgerton. Acute effects of resistance exercise on MRI of skeletal muscle. *The Physiologist*, 33, 4, A-122, 1990.
被引用回数 65回
23. Kurokawa S, T. Fukunaga, and S. Fukashiro. Behavior of fascicles and tendinous structures of human gastrocnemius during vertical jumping. *J. Appl. Physiol.*, 90, 1349-58, 2001.
被引用回数 64回
24. Kawakami, Y., D. Nozaki, A. Matsuo and T. Fukunaga. Reliability of measurement of oxygen-uptake by a portable telemetric system. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Phys.*, 65, 409-414, 1992 :
被引用回数 63回
25. Homma, S., T. Fukunaga, and A. Kagaya. Influence of adipose tissue thickness on near infrared spectroscopic signals in the measurement of human muscle. *J. Biomed. Optics.*, 1(4), 418-424, 1996.
被引用回数 62回
26. Akima H, K. Kubo, H. Kanehisa, Y. Suzuki, A. Gunji and T. Fukunaga. Leg-press resistance training during 20 days of 6 degrees head-down-tilt bed rest prevents muscle deconditioning. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 82, 30-38, 2000.
被引用回数 60回
27. Kubo K, Kanehisa H, Kawakami Y and Fukunaga T. Elastic properties of muscle-tendon complex in long-distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 81, 181-187, 2000.
被引用回数 58回
28. Shinohara, M., M. Kouzaki, T. Yoshihisa and T. Fukunaga. Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance. *Eur J Appl Physiol*, 77, 189-191, 1998.
被引用回数 58回
29. Akima H, K. Kubo, M. Imai, H. Kanehisa, Y. Suzuki, A. Gunji and T. Fukunaga. Inactivity and muscle, effect of resistance training during bed rest on muscle size in the lower limb. *Acta Physiol Scand*, 172, 269-278, 2001.
被引用回数 58回
30. Abe, T., M. Kondo, Y. Kawakami and T. Fukunaga. Prediction equations for body-composition of Japanese adults by b-mode ultrasound. *Am. J. Hum. Biol.*, 6, 161-170, 1994 :
被引用回数 56回
31. Miyatani M, H. Kanehisa Y. Masuo, M. Ito and T. Fukunaga. Validity of estimating limb muscle volume by bioelectrical impedance. *J. Appl. Physiol.*, 91, 3863-94, 2001.
被引用回数 55回
32. Akima H, Y. Kawakami, K. Kubo, C. Sekiguchi, H. Ohshima, A. Miyamoto and T. Fukunaga. Effect of short-duration spaceflight on thigh and leg muscle volume. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32, 1743-1747, 2000.
被引用回数 54回
33. Kawakami Y, K. Amemiya, H. Kanehisa, S. Ikegawa and T. Fukunaga. Fatigue responses of human triceps surae muscles during repetitive maximal isometric contractions. *J. Appl. Physiol.*, 88, 1969-1975, 2000.
被引用回数 52回
34. Kubo K, H. Kanehisa and T. Fukunaga. Effects of different duration isometric contractions on tendon elasticity in human quadriceps muscles. *J. Physiol.*, 536, 649-55, 2001.
被引用回数 52回
35. Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T. Gender differences in the viscoelastic properties of tendon structures. *Eur J Appl Physiol*, 88, 520-526, 2003.
被引用回数 51回
36. Tabata, I., Y. Suzuki, T. Fukunaga, T. Yokozeki, H. Akima, and K. Funato. Resistance training affects CLUT-4 content in skeletal muscle of humans after 19 days of head-down bed rest. *J Appl Physiol*, 86, 909-914, 1999.
被引用回数 50回
37. Fukunaga, T., M. Ito, Y. Ichinose, S. Kuno, Y. Kawakami and S. Fukashiro. Tendinous movement of a human muscle during voluntary contractions determined by real-time ultrasonography. *J. Appl. Physiol.*, 81, 1430-1433, 1996 :
被引用回数 48回
38. Kubo, K, Kanehisa, H, and Fukunaga, T. Effect of stretching training on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J Appl Physiol*, 92, 595-601, 2002.
被引用回数 48回
39. Akima H, Ushiyama J, Kubo J, Tonosaki S, Itoh M, Kawakami Y, Fukuoka H, Kanehisa H, Fukunaga T. Resistance Training during Unweighting Maintains Muscle Size and Function in Human Calf. *Med Sci Sports Exerc*, 35, 655-662, 2003.
被引用回数 48回
40. Ichinose, Y., Y. Kawakami, M. Ito and T. Fukunaga. Estimation of active force-length characteristics of human vastus lateralis muscle. *Acta. Anat.*, 159, 78-83, 1997 :
被引用回数 47回

41. Kanehisa, H., S. Ikegawa and T. Fukunaga. Comparison of muscle cross-sectional area and strength between untrained women and men. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Phys.*, 68, 148-154, 1994 :
被引用回数 47回
42. Shinohara, M., M. Kouzaki, T. Yoshihisa and T. Fukunaga. Mechanomyography of the human quadriceps muscle during incremental cycle ergometry. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Phys.*, 76, 314-319, 1997 :
被引用回数 47回
43. Miyatani M, Kanehisa H, Ito M, Kawakami Y, Fukunaga T. The accuracy of volume estimates using ultrasound muscle thickness measurements in different muscle groups. *Eur J Appl Physiol*, 91, 264-72, 2004.
被引用回数 43回
44. Kanehisa, H., S. Ikegawa, N. Tsunoda and T. Fukunaga. Strength and cross-sectional areas of reciprocal muscle groups in the upper arm and thigh during adolescence. *Int. J. Sports Med.*, 16, 54-60, 1995 :
被引用回数 41回
45. Kouzaki M, Shinohara M, Fukunaga T. Decrease in maximal voluntary contraction by tonic vibration applied to a single synergist muscle in humans. *Journal of Applied Physiology* 89(4): 1420-1424, 2000.
被引用回数 41回
46. Kouzaki M, Shinohara M, Fukunaga T. Non-uniform mechanical activity of quadriceps muscle during fatigue by repeated maximal voluntary contraction in humans. *European Journal of Applied Physiology* 80(1): 9-15, 1999.
被引用回数 41回
47. Kouzaki M, Shinohara M, Masani K, Kanehisa H, Fukunaga T. Alternate muscle activity observed between knee extensor synergists during low-level sustained contractions. *Journal of Applied Physiology* 93(2): 675-684, 2002.
被引用回数 38回
48. Ichinose Y, Y. Kawakami, M. Ito, H. Kanehisa and T. Fukunaga. In vivo estimation of contraction velocity of human vastus lateralis muscle during "isokinetic" action. *J. Appl. Physiol.*, 88, 851-856, 2000.
被引用回数 38回
49. Kanehisa, H., S. Ikegawa, N. Tsunoda and T. Fukunaga. Strength and cross-sectional area of knee extensor muscles in children. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Phys.*, 68, 402-405, 1994 :
被引用回数 36回
50. Kubo K, Tsunoda N, Kanehisa H, Fukunaga T. Activation of agonist and antagonist muscles at different joint angles during maximal isometric efforts. *Eur J Appl Physiol*, 91, 349-352, 2004.
被引用回数 36回
51. Kubo K, Kanehisa H, Miyatani M, Tachi M, Fukunaga T. Effect of low-load resistance training on the tendon properties in middle-aged and elderly women. *Acta Physiol Scand*, 178, 25-32, 2003.
被引用回数 35回
52. Kurokawa S, Fukunaga T, Nagano A, Fukashiro S. Interaction between fascicles and tendinous structures during counter movement jumping investigated in vivo. *J Appl Physiol*, 95, 2306-2314, 2003.
被引用回数 35回
53. Fukunaga T, Kawakami Y, Kubo K, Kanehisa H. Muscle and tendon interaction during human movements. *Exerc Sport Sci Rev.*, 30, 106-110, 2002.
被引用回数 34回
54. Kanehisa, H., S. Ikegawa, N. Tsunoda and T. Fukunaga. Cross-sectional areas of fat and muscle in limbs during growth and middle-age. *Int. J. Sports Med.*, 15, 420-425, 1994 :
被引用回数 33回
55. Kubo K, Kanehisa H, Azuma K, Ishizu M, Kuno S, Okada M, Fukunaga T. Muscle architectural characteristics in women aged 20-79 years. *Med Sci Sports Exerc*, 35, 39-44, 2003.
被引用回数 33回
56. Shinohara M, Yoshitake Y, Kouzaki M, Fukuoka H, Fukunaga T. Strength training counteracts motor performance losses during bed rest. *J Appl Physiol*, 95, 1485-1492, 2003.
被引用回数 32回
57. Shinohara M, Yoshitake Y, Kouzaki M, Fukuoka H, Fukunaga T. Strength training counteracts motor performance losses during bed rest. *J Appl Physiol*, 95, 1485-1492, 2003.
被引用回数 32回
58. Masani K, Kouzaki M, Fukunaga T. Variability of ground reaction forces during treadmill walking. *J Appl Physiol*, 92, 1885-1890, 2002
被引用回数 32回
59. Kubo K, H. Kanehisa, D. Takeshita, Y. Kawakami, S. Fukashiro and T. Fukunaga. In vivo dynamics of human medial gastrocnemius muscle-tendon complex during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiol Scand*, 170, 127-135, 2000.
被引用回数 30回
60. Kubo K, H. Kanehisa and T. Fukunaga. Is passive stiffness in human muscles related to the elasticity of

tendon structures? *Eur. J. Appl. Physiol.*, 85, 226-232, 2001.

被引用回数 30回

61. Muraoka T, Muramatsu T, Takeshita D, Kawakami Y, *Fukunaga T*. Length change of human gastrocnemius aponeurosis and tendon during passive joint motion. *Cells Tissues Organs*. 171, 260-268, 2002.

被引用回数 29回

62. Miyatani M, Kanehisa H, Kuno S, Nishijima T, *Fukunaga T*. Validity of ultrasonograph muscle thickness measurements for estimating muscle volume of knee extensors in humans. *Eur J Appl Physiol*, 86, 203-208, 2002.

被引用回数 29回

63. Muraoka T, Muramatsu T, Takeshita D, Kawakami Y, *Fukunaga T*. Length change of human gastrocnemius aponeurosis and tendon during passive joint motion. *Cells Tissues Organs*. 171, 260-268, 2002.

被引用回数 29回

64. Kanehisa, H., H. Yata, S. Ikegawa and T. Fukunaga. A cross-sectional study of the size and strength of the lower leg muscles during growth. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Phys.*, 72, 150-156, 1995 :

被引用回数 28回

65. Ito M, H. Akima and *T. Fukunaga*. In vivo moment arm determination using B-mode ultrasonography. *J. Biomech.*, 33, 215-218, 2000.

被引用回数 27回

66. Muraoka T, Muramatsu T, *Fukunaga T*, Kanehisa H. Influence of tendon slack on electromechanical delay in the human medial gastrocnemius in vivo. *J Appl Physiol*, 96(2), 540-544, 2004.

被引用回数 26回

67. Muramatsu, T Muraoka², Y Kawakami², A Shibayama², and T Fukunaga² In vivo determination of fascicle curvature in contracting human skeletal muscles *J Appl Physiol* 92: 129-134, 2002

被引用回数 25回

68. Akima H, S. Kuno, H. Takahashi, *T. Fukunaga* and S. Katsuta. The use of magnetic resonance images to investigate the influence of recruitment on the relationship between torque and cross-sectional area in human muscle. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 83, 475-480, 2000.

被引用回数 25回

69. Muraoka T, Muramatsu T, *Fukunaga T*, Kanehisa H. Elastic properties of human Achilles tendon are correlated to muscle strength. *J Appl Physiol*, 99(2), 665-9, 2005.

被引用回数 24回

70. Ogawa T, Furochi H, Mameoka M, Hirasaka K, Onishi Y, Suzue N, Oarada M, Akamatsu M, Akima H, *Fukunaga T*, Kishi K, Yasui N, Ishidoh K, Fukuoka H, Nikawa T. Ubiquitin ligase gene expression in healthy volunteers with 20-day bedrest. *Muscle Nerve*, 34(4), 463-469, 2006.

被引用回数 24回

71. Ryushi, T. and T. Fukunaga. Influence of subtypes of fast-twitch fibers on isokinetic strength in untrained men. *Int. J. Sports Med.*, 7, 250-253, 1986 :

被引用回数 23回

72. Kubo K, Yata H, Kanehisa H, *Fukunaga T*. Effects of isometric squat training on the tendon stiffness and jump performance. *Eur J Appl Physiol*, 96(3), 305-314, 2006.

被引用回数 23回

73. Ichinose, Y., H. Kanehisa, M. Ito, Y. Kawakami and *T. Fukunaga*. Morphological and functional differences in the elbow extensor muscle between highly trained male and female athletes. *Eur J Appl Physiol*, 78(2), 109-114, 1998.

被引用回数23回

74. Kubo K, Kawakami Y, Kanehisa H, *Fukunaga T*. Measurement of viscoelastic properties of tendon structures in vivo. *Scand J Med Sci Sports*, 12, 3-8, 2002.

被引用回数 23回

75. Kubo K, Morimoto M, Komuro T, Yata H, Tsunoda N, Kanehisa H, *Fukunaga T*. Effects of plyometric and weight training on muscle-tendon complex and jump performance. *Med Sci Sports Exer*, 39, 1801-1810, 2007.

被引用回数 22回

76. Kubo K, H. Kanehisa, Y. Kawakami and *T. Fukunaga*. Effects of repeated muscle contractions on the tendon structures in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 84, 162-166, 2000.

被引用回数 22回

77. Ikegawa S, M. Shinohara, *T. Fukunaga*, J. P. Zbilut and C. L. Jr. Webber. Nonlinear time-course of lumbar muscle fatigue using recurrence quantifications. *Biol. Cybern.*, 82, 373-382, 2000.

被引用回数 22回

78. Akima H, M. Ito, H. Yoshikawa, *T. Fukunaga*. Recruitment plasticity of neuromuscular compartments in exercised tibialis anterior using echo-planar magnetic resonance imaging in humans. *Neuroscience Letters*, 22, 296, 133-136, 2000.

被引用回数 21回

79. Kubo K, Kanehisa H, *Fukunaga T*. Effects of transient muscle contractions and stretching on the tendon structures in vivo. *Acta Physiol Scand*, 175, 157-164, 2002.

被引用回数 21回