

Evaluating whole body skeletal muscle activity during exercise by positron emission tomography (PET)

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2021-09-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Takata, Yasushi, Nakase, Junsuke, Tsuchiya, Hiroyuki メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00063894

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



【金沢大学 papers of the month 選出論文】

スポーツによる全身骨格筋活動をポジトロン断層撮影法 (PET) で評価する試み

高田 泰史^{1,2}, 中瀬 順介¹, 土屋 弘行¹

¹⁾ 金沢大学附属病院 整形外科, ²⁾ 独立行政法人国立病院機構 金沢医療センター

Evaluating whole body skeletal muscle activity during exercise by positron emission tomography (PET)

Yasushi Takata, Junsuke Nakase, Hiroyuki Tsuchiya

はじめに

骨格筋活動を評価する方法としては筋電図が一般的である。表面電極を用いた方法は簡便で非侵襲的であるが、調査対象とする骨格筋に事前に電極を貼付する必要があるため、一度に評価できる骨格筋の数は限られると共に、体表から触れることができる骨格筋に限定され、体幹および四肢の深部に存在する骨格筋を評価することは不可能である。また、より深層の骨格筋に対してはワイヤー電極が使われるが、侵襲的であり、刺入部位の正確性の担保の問題や、ノイズ・アーチファクトの影響も大きい^{1),2)}。さらにこれらの筋電図による評価では、全身骨格筋を一度に観察することができないばかりか、各骨格筋の活動は、その骨格筋の最大収縮時の電位に対してどの程度の収縮強度が発揮されているかで評価されるため、各骨格筋間を直接定量的に評価することは困難である。また、コードや電極などが運動動作を邪魔するため、運動時の骨格筋活動の研究結果としては不十分なものと言わざるを得ない。

ポジトロン断層撮影法 (PET) は臨床において、がんの局所診断や脳血流量の計測、心筋虚血・再灌流の評価などに利用されているが、運動後の骨格筋活動の評価にも有用であるとの報告が散見される^{3),4)}。この手法は、骨格筋が収縮する際に、必要となるエネルギーの増加を補うため、血中からグルコースを取り込むという原理に基づいている。フルオロデオキシグルコース (FDG) は、グルコースの2位の水酸基を陽電子放射同位体であるフッ素18に置換したものである。FDGはグルコース類似物質であり、体内に静脈注射後、グルコースと同様に細胞に取り込まれFDG6リン酸に変化するが、それ以降は解糖系で代謝されずに細胞内に

蓄積されていく (図1)。細胞内に蓄積されたFDGのフッ素18はγ線を発生し、そのγ線を捉えて画像化するのがFDG-PETである。こうして得られた画像から、全身の骨格筋のグルコース代謝を評価でき、これが骨格筋活動と強く相関することが報告されている⁴⁾。このように、運動時の骨格筋活動を、FDG-PETを用いて、糖代謝の観点から評価する試みが、様々な運動課題に応用されている。RudroffらはPETが運動生理学における代謝イメージ研究の“Gold standard”になる可能性があるとして述べている⁵⁾。

本総説では、これまでにFDG-PETを骨格筋活動の評価として用いてきた研究をまとめると共に、当科で行ってきた研究を紹介する。

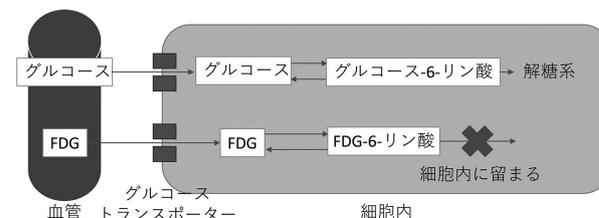
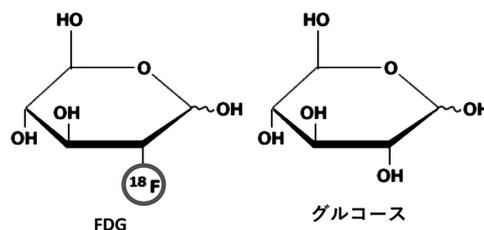


図1. フルオロデオキシグルコースとグルコースの化学構造式と代謝経路
フルオロデオキシグルコースはグルコースと同様な経路で細胞内に取り込まれるが、解糖系で代謝されずに細胞内に留まる。

骨格筋活動をFDG-PETで評価する試み

FDG-PETによる骨格筋活動の評価は、事前に電極等の準備が必要にならないため、実際の運動環境に即した動作が可能であり、様々な運動課題に応用可能であるが、理想的には単純な繰り返し動作を長時間継続する運動課題の評価が行いやすい。

運動時の骨格筋活動をFDG-PETを用いて初めて評価した研究として、Fujimotoら³⁾やTashiroら⁶⁾はランニング時の骨格筋のFDG取り込みを評価し、下腿背面の筋群の活動が亢進していることを報告した。Bojsen-Møllerらはクロスカントリースキーのdouble poling運動において上肢へのFDG集積亢進は有意でなく、膝伸展・屈曲筋や腹筋群に有意な集積亢進を認めたと報告している。Ohnumaら⁴⁾は短距離走の評価を行い、大腿後面の筋群に集積の亢進を認めたと報告している。その他にも、自転車トレーニング^{7,8)}やウォーキング⁹⁾での結果が報告されている。

より臨床に近い応用方法として、Shinozakiら¹⁰⁾は腱板断裂患者に腱板エクササイズを行った時のFDG集積を調査し、棘上筋だけでなく棘下筋や肩甲下筋の集積も低下していることを報告した。また、腱板断裂術前後での集積の比較¹¹⁾、肩挙上運動時の評価¹²⁾、徒手検査における骨格筋活動評価¹³⁾にも応用されている。さらにアキレス腱炎の患者に対する遠心性運動の効果の評価¹⁴⁾、変形性膝関節症患者に指導される下肢挙上運動時の骨格筋活動評価¹⁵⁾、また、体幹深部筋のトレーニング装置やベルト型電極を有する電気的筋刺激装置の有効性を実証するためにFDG-PETが応用されている¹⁶⁻¹⁸⁾。

傷害予防トレーニングの骨格筋活動をFDG-PETで評価する試み

医学界全体が「治療」の時代から「予防」の時代へと大きく転換し、スポーツ医学の領域も「予防」に注目が集まっている。FIFA11+は現在、世界中で最も普及しているスポーツ傷害予防プログラムであり、年齢、性別、レベル、競技を問わず傷害予防への有効性が報告されている。しかし、このプログラムがどの骨格筋をトレーニングした結果としてスポーツ傷害の予防に繋がっているかは明らかとなっていなかった。FIFA11+は複数のトレーニング種目を順に行っていくトレーニングプログラムであり、このプログラムを通して行った際に、全身のどの骨格筋がどの程度活動しているかを評価する必要があった。我々は、その評価のためにFDG-PETに着目した。FDG-PETではこのトレーニングプログラ

ムを通して行った際の、各骨格筋の活動負荷の蓄積として骨格筋活動が評価できる。また、被検者は体に何も装着する必要がないため、自由に体を動かすことができ、より実際のトレーニング環境に近い状態で実験を行うことができる。FDG-PETによる評価は、課題の解決法として最適と考えられた。

10名の健康成人男性を2つのグループに分け、片方のトレーニング群は20分間FIFA11+part2を実施してもらい、その後FDGを静脈注射し、さらに20分間FIFA11+part2を実施し、PET-CTを撮影した。もう片方のコントロール群は安静座位の後、FDGを静脈注射し、さらに安静座位の後、PET-CTを撮影した。得られた画像に対して、30の骨格筋に関心領域を設定し、FDG集積の程度を表すstandardized uptake value (SUV)を計測し、その平均値を2群間で比較した。結果、腹直筋・中殿筋・小殿筋にFDG集積の亢進がみられた。FIFA11+part2は腹筋および股関節外転筋への負荷が強いことが示唆された¹⁹⁾。

トレーニングを行い、その効果が得られるためにはある程度のトレーニング期間が必要である。FIFA11+を週に3回、8-9週継続した際に、神経筋コントロールや筋力増加、バランス能力が向上すると報告されており、我々は、FIFA11+を4週間継続してトレーニングを行う前後でFIFA11+を行った際の筋活動に変化があるかを調査した。11人の健康な成人サッカー選手に対して、前出と同様な手法により、FIFA11+part2を行った際のFDG-PETを撮影した。被検者は、その後4週間、週に3回FIFA11+part2を行った。初回FDG-PET撮影から4週間後にもう一度FIFA11+part2を行ってFDG-PETを撮影した。トレーニング継続前後のFDG-PET画像に対して30の骨格筋に関心領域を設定し、SUVの平均値を比較した。結果、縫工筋・半膜様筋・大腿二頭筋・母趾外転筋・短母趾外転筋にFDG集積の亢進が見られた。FIFA11+part2を4週間継続して行うことにより、FIFA11+part2を行った際の筋活動は、ハムストリングスと母趾の骨格筋群で亢進することが示された。これまでの報告で見られた、FIFA11+を継続して行った際に、ハムストリングの筋力増加やバランス能力が向上するといった報告と合致すると考えられた²⁰⁾。

さらに長期間トレーニングを継続した場合の効果を、膝の筋力およびバランス能力の評価を含めて行うために、6か月間FIFA11+part2を行う前後でFDG-PETによる計測と、膝屈曲・伸展筋力および静的・動的バランステストを8人の健康な大学サッカー選手に対して行った。結果、外腹斜筋・脊柱起立筋・前脛骨筋にFDG集積の亢進を認めた。また、動的バランス能力の

向上と、膝屈曲筋力の向上を認めた。FIFA11 + part2を6か月間継続して行うことにより、FIFA11 + part2を行った際の筋活動は、腹筋群と前脛骨筋で亢進することが示された。また、バランス能力の向上と膝屈曲筋力の向上も示された²¹⁾。

これら一連の研究結果から、FIFA11 + part2を単行行った場合の骨格筋活動と、トレーニングを継続した場合の骨格筋活動の変化を評価することができた。また、これらの変化が膝屈曲筋力の向上やバランス能力の向上に貢献していることが示唆された。我々は、この結果とこれまでの当教室の知見あるいは日本人の体格・動作に合わせたトレーニング等から最良と思われるトレーニングで構成した、オリジナルの傷害予防トレーニングプログラムである「Ready for Play」を制作した。Ready for Playには上記のPETを用いたFIFA11 + の検証で骨格筋活動の亢進が見られた腹筋群や股関節周囲筋群およびハムストリングスに効果のあるトレーニングを多く取り入れるとともに、現在まであまり注目されていなかったが、上記のPETによる検証では高い骨格筋活動の亢進を示した足部内在筋にも着目し、足趾のトレーニングを取り入れている。また、日本人の体格・動作に注目したトレーニングとして四股歩きや相撲を模した押し合いなども組み込まれた。我々はこの傷害予防トレーニングプログラムを普及させるために、アプリにするという方法を選んだ。1日当たりにスマートフォンを利用する回数は約50回、アプリを利用する回数は約90回とも言われており、特に若年者で多い傾向にある。現代においてアプリは日常生活に溶け込んだものになっていると考えられ、チラシやDVD・書籍にするよりもはるかにアクセスしやすく、現場で利用しやすいと考えた。そこで、我々は2016年5月に完全無料アプリとして「Ready for Play-金大整形トレ-」²²⁾(図2)を発表した。

投球時の全身骨格筋活動をFDG-PETで評価する試み

投球は全身運動である。しかしながら、現在まで、この全身の運動連鎖の中で、どの骨格筋がどの程度貢献しているかを全身的に検証する研究は行われてこなかった。それは、今日までの骨格筋活動研究の“Gold standard”が筋電図であったためと考えられる。筋電図を用いた研究の多くが、前腕・肩周囲・上肢・体幹・下肢などのパーツごとの研究であった。さらに、筋電図では複数の電極やリード線が投球動作を邪魔する結果になり、被検者が100%のパフォーマンスを発揮できる環境に近い計測が困難であった。この点におい



図2. Ready for play-金大整形トレ-の紹介ポスター

て、我々がやっているPETを用いた全身骨格筋活動の評価では、全身隅々まで網羅的に、どの骨格筋がどの程度活動しているかを1度の検査で半定量的に評価可能であり、投球時に動作を阻害する電極のようなものを貼付する必要がないため、完全に普段通り、すなわち100%の投球を違和感なく行うことができる。

大学硬式野球部とプロ野球経験者の投手10名を対象とした。対象者には前日からトレーニング等の運動や肉体労働は避けるように指示し、FDG注射の6時間前から絶食(飲料水のみ摂取可)とした。十分なウォーミングアップを行った後、マウンド上から40球の全力投球を行った。その後、FDGの静脈注射を受け、さらに40球の全力投球を行った。FDG注射後60分でPET-CTを撮影した。得られた画像に対し、全身73の骨格筋に関心領域を設定し、各関心領域のSUVを、日常生活以外の運動を制限した健常成人10名と、投球側・非投球側に分けて比較した。統計処理にはSPSS ver.23を使用し、検定にはMann-Whitney testを用いて、有意差は $P < 0.05$ とした。結果、手指および足趾の筋群に有意な糖代謝の亢進を認めた。また、投球側のハムストリングスおよび非投球側の腸骨筋・大腿筋膜張筋・縫工

筋に糖代謝の亢進を認めた。肩胛板筋群（肩甲下筋・棘上筋・棘下筋・小円筋）や体幹筋群（腹直筋・外腹斜筋・内腹斜筋・腹横筋・大腰筋・腰方形筋・脊柱起立筋）には糖代謝の亢進を認めなかった（図3）。投球運動の非対称的な下肢の筋活動と、手指及び足趾筋群の貢献度の高さを評価することができた。従来、投球運動に重要とされてきた体幹や肩甲帯の骨格筋には筋活動の亢進を認めなかった²³⁾。

昨今、野球界において、投球過多による投球障害を予防する目的で、投球数制限を導入する動きが広がっている。いわゆる“投げすぎ”による肩や肘関節への負担軽減を目的として、主に試合中の投球数の制限が行われている。しかし、練習中の投球負荷に関してまでは制限をかけにくいのが現状である。今回の投球時の全身骨格筋活動を明らかにする研究により、投球時にどの骨格筋がどの程度活動するかを解明し、それらの筋をターゲットとしたトレーニングプログラムを構築すれば、投球運動を行わなくても同程度の負荷をトレーニングによって与えることができると考えられ、“投げ込み”などの過剰な投球負荷を回避できる可能性があると考えられる。本研究は、投球運動のパフォーマンス向上と障害予防の基礎となる研究であると考えている。

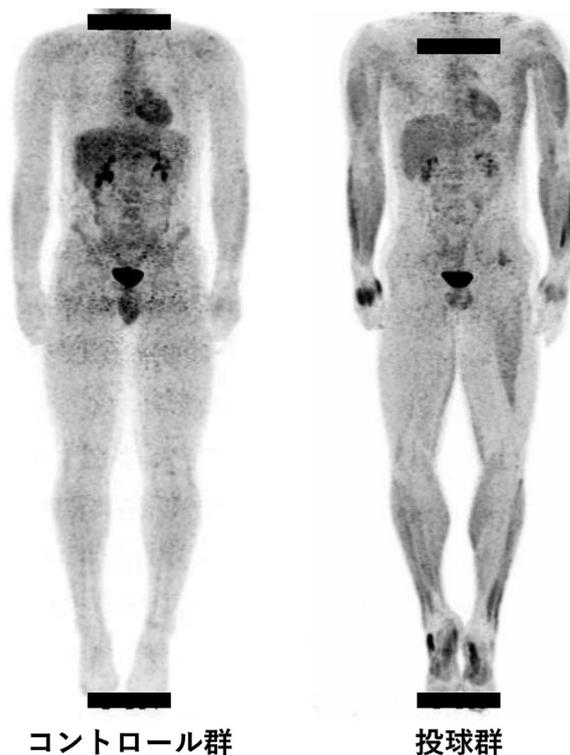


図3-1. 全身のFDG-PET画像
左はコントロール群の安静時の被検者。右は投球運動を行った被検者。

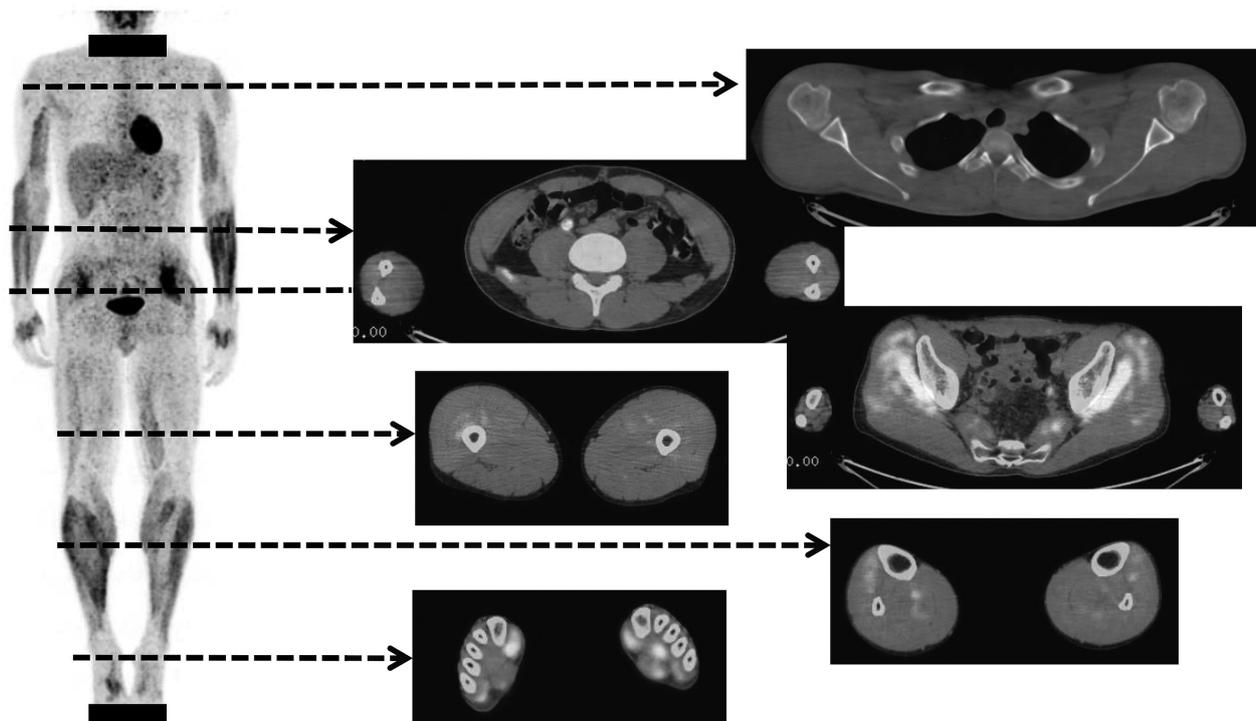


図3-2. 全身73の骨格筋に対してPET-CT画像の断面からSUV値を計測した。

ウエイトリフティング競技における全身骨格筋活動を評価する試み

我々の研究室では、2014年度より「SUZU DREAM CLUB」のメディカルサポートを行ってきた。「SUZU DREAM CLUB」は『珠洲から世界へ、珠洲からオリンピックへ!』を目標に、ウエイトリフティングを軸とするスポーツクラブである。乳幼児から社会人までの選手がオリンピック選手を目指してウエイトリフティング競技に取り組んでいる。メディカルサポートでは、成長期のウエイトリフティング選手を対象として身体・体力測定および画像検査を行い、スポーツ障害の早期発見およびその後発生するスポーツ障害を調査し、競技特異的な障害の予防や競技力の向上に寄与することを目的としている。成長期のウエイトリフティング選手の競技特異的な障害である腰痛(腰椎分離症)や膝痛(オスグッド・シュラッター病)に焦点を絞って身体・体力測定や画像検査を行ってきた。その中で、12名の腰椎MRIの経時的な前向き観察により、3年間の研究期間中に11/12例(91.6%)と非常に高い割合で腰椎MRIの不可逆的な異常所見を認めた。一方、腰痛を自覚する症例はわずか3例で、多くの症例は無症状であった²⁴⁾。このことから、症状との関連性は明確ではないものの、成長期におけるウエイトリフティング競技のトレーニングは、腰椎に何らかの不可逆的な変化をもたらす可能性が高いことが示唆された。ウエイトリフティング競技の発展においてジュニア世代からの競技能力向上が課題となっている一方で、成長期における過度なトレーニング負荷は不可逆的な障害を残す可能性があるというジレンマが存在する。どのようなトレーニングプログラムがウエイトリフティングの競技能力を向上させると同時に、障害を抑制・予防するのであろうか。この問いに答えるためには、まず、ウエイトリフティングに必要な骨格筋を知る必要がある。そこで、ウエイトリフティング競技における全身の骨格筋活動をPETを用いて定量的に評価することとした。

ハングパワークリーン(HPC)は、主に跳躍力を向上させる目的で実践されているウエイトリフティングエクササイズの一つである。本研究では、HPCの骨格筋活動を検証した。成人男性大学ウエイトリフティング選手12名を対象とした。40kgのバーベルでHPCを20回×3セット行い、FDGを静脈注射した。さらにHPCを20回×3セット行った後にPET-CTを撮影し、全身71の骨格筋SUVを測定した。日常生活以外の運動を制限しPET-CTを撮影したコントロール群10名と比較した。結果、HPC群では、コントロール群と比べ29

の骨格筋で有意なSUVの上昇を認めた。特に手指および足趾の筋群、僧帽筋、三角筋、上腕、前腕の屈筋群、大腿四頭筋、ヒラメ筋にSUVの上昇が顕著であった。大腿四頭筋では、大腿直筋に比べ内側広筋、中間広筋、外側広筋のSUVが高い傾向にあった。さらに大腿三頭筋では、腓腹筋に比べヒラメ筋のSUVが有意に高かった。体幹、股関節の深層筋にはSUVの上昇は認めなかった。PETを用いてHPCの全身の骨格筋活動を評価し、体幹、股関節の深層筋を除く数多くの骨格筋の貢献が示唆された。特に、大腿四頭筋および下腿三頭筋において単関節筋に高い骨格筋活動を認めた。

スポーツによる全身骨格筋活動をPETで評価する試みのこれから

このように、運動による骨格筋活動強度を糖代謝の観点からFDG-PETを用いて評価することにより、今までの筋電図などでの手法では困難であった深層の骨格筋まで、全身的に骨格筋活動強度を評価することができた。また、運動を一定期間継続することにより、同じ運動を同じ強度で行っても骨格筋の活動強度が変化してくることがわかった。それぞれの運動で、特有の全身骨格筋活動強度が判明すれば、その特徴に応じたトレーニングプログラムを構築することができ、より効率的なトレーニングの実現、引いては、パフォーマンスの向上と傷害予防の両立につながると考えている。今後は様々な運動課題に対して、この手法を応用し、それぞれのスポーツに特徴的な骨格筋活動のパターンを把握することによって、そのスポーツに特化したトレーニングプログラムを考案し、パフォーマンスの向上と傷害予防に繋げ、アスリートにその成果を還元していくことが本研究の使命であると考えている。

謝 辞

本総説の執筆にあたり、ご指導いただきました金沢大学医薬保健研究域医学系核医学 絹谷清剛教授および稲木杏吏講師、金沢先進医学センター 望月孝史博士に深謝申し上げます。また、研究に参加いただきました多くのアスリートに感謝申し上げます。最後に、執筆の機会を与えてくださいました金沢大学十全医学会誌編集委員長の吉崎智一教授ならびに関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) De Luca CJ. The use of surface electromyography in biomechanics. *J Appl Biomech* 13(2): 135-163, 1997
- 2) Staudenmann D, Roeleveld K, Stegeman DF, van Dieen JH. Methodological aspects of SEMG recordings for force estimation—a tutorial and review. *Journal of electromyography and kinesiology: J Electromyogr Kinesiol* 20(3): 375-387, 2010
- 3) Fujimoto T, Itoh M, Kumano H, Tashiro M, Ido T. Whole-body metabolic map with positron emission tomography of a man after running. *Lancet* 348(9022): 266, 1996
- 4) Ohnuma M, Sugita T, Kokubun S, Yamaguchi K, Rikimaru H. Muscle activity during a dash shown by 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography. *J Orthop Sci* 11(1): 42-45, 2006
- 5) Rudroff T, Ketelhut NB, Kindred JH. Metabolic Imaging in Exercise Physiology. *J Appl Physiol* 124(2): 497-503, 2018
- 6) Tashiro M, Fujimoto T, Itoh M, Kubota K, Fujiwara T, Miyake M, Watanuki S, Horikawa E, Sasaki H, Ido T. 18F-FDG PET imaging of muscle activity in runners. *J Nucl Med* 40(1): 70-76, 1999
- 7) Fujimoto T, Kemppainen J, Kalliokoski KK, Nuutila P, Ito M, Knuuti J. Skeletal muscle glucose uptake response to exercise in trained and untrained men. *Med Sci Sports Exerc* 35(5): 777-783, 2003
- 8) Gondoh Y, Tashiro M, Itoh M, Masud MM, Sensui H, Watanuki S, Ishii K, Takekura H, Nagatomi R, Fujimoto T. Evaluation of individual skeletal muscle activity by glucose uptake during pedaling exercise at different workloads using positron emission tomography. *J Appl Physiol* 107(2): 599-604, 2009
- 9) Oi N, Iwaya T, Itoh M, Yamaguchi K, Tobimatsu Y, Fujimoto T. FDG-PET imaging of lower extremity muscular activity during level walking. *J Orthop Sci* 8(1): 55-61, 2003
- 10) Shinozaki T, Takagishi K, Ichikawa A, Inoue T, Yamaji T, Ishikawa T, Ohsawa T, Aramaki M, Aiba S, Endo K. Use of 2-[18F]-fluoro-2-deoxy-d-glucose positron emission tomography (FDG PET) imaging for the evaluation of muscle metabolic activity in ruptured rotator cuffs: Identification of shoulder muscles by fusion imaging studies involving both FDG PET and magnetic resonance imaging. *J Shoulder Elbow Surg* 12(6): 544-549, 2003
- 11) Shinozaki T, Takagishi K, Ohsawa T, Yamaji T, Endo K. Pre- and postoperative evaluation of the metabolic activity in muscles associated with ruptured rotator cuffs by F-FDG PET imaging. *Clin Physiol Funct Imaging* 26(6): 338-342, 2006
- 12) Omi R, Sano H, Ohnuma M, Kishimoto KN, Watanuki S, Tashiro M, Itoi E. Function of the shoulder muscles during arm elevation: an assessment using positron emission tomography. *J Anat* 216(5): 643-649, 2010
- 13) Lee CK, Itoi E, Kim SJ, Lee SC, Suh KT. Comparison of muscle activity in the empty-can and full-can testing positions using 18 F-FDG PET/CT. *J Orthop Surg Res* 9: 85, 2014
- 14) Masood T, Kalliokoski K, Magnusson SP, Bojsen-Møller J, Finni T. Effects of 12-wk eccentric calf muscle training on muscle-tendon glucose uptake and SEMG in patients with chronic Achilles tendon pain. *J Appl Physiol* (1985) 117(2): 105-111, 2014
- 15) Shiozawa H, Ohsawa T, Tsuchiya Y, Higuchi T, Takagishi K, Chikuda H. Evaluation of muscle activity just after straight leg raising exercise by using 18 FDG-PET. *J Orthop Sci* 23(2): 328-333, 2018
- 16) Kato S, Murakami H, Inaki A, Mochizuki T, Demura S, Nakase J, Yoshioka K, Yokogawa N, Igarashi T, Takahashi N, Yonezawa N, Kinuya S, Tsuchiya H. Innovative exercise device for the abdominal trunk muscles: An early validation study. *PLoS One* 12(2): e0172934, 2017
- 17) Kato S, Inaki A, Murakami H, Kurokawa Y, Mochizuki T, Demura S, Yoshioka K, Yokogawa N, Yonezawa N, Shimizu T, Kinuya S, Tsuchiya H. Reliability of the muscle strength measurement and effects of the strengthening by an innovative exercise device for the abdominal trunk muscles. *J Back Musculoskelet Rehabil* 33(4): 677-684, 2020
- 18) Numata H, Nakase J, Inaki A, Mochizuki T, Oshima T, Takata Y, Kinuya S, Tsuchiya H. Effects of the belt electrode skeletal muscle electrical stimulation system on lower extremity skeletal muscle activity: Evaluation using positron emission tomography. *J Orthop Sci* 21(1): 53-56, 2016
- 19) Nakase J, Inaki A, Mochizuki T, Toratani T, Kosaka M, Ohashi Y, Taki J, Yahata T, Kinuya S, Tsuchiya H. Whole body muscle activity during the FIFA 11+ program evaluated by positron emission tomography. *PLoS One* 8(9): e73898, 2013
- 20) Takata Y, Nakase J, Inaki A, Mochizuki T, Numata H, Oshima T, Kinuya S, Tsuchiya H. Changes in muscle activity after performing the FIFA 11+ programme part 2 for 4 weeks. *J Sports Sci* 34(20): 2011-2017, 2016
- 21) Oshima T, Nakase J, Inaki A, Mochizuki T, Takata Y, Shinozaki K, Kinuya S, Tsuchiya H. Comparison of muscle activity, strength, and balance, before and after a 6-month training using the FIFA11+ program (part 2). *J Orthop Surg (Hong Kong)* 28(1): 2309499019891541, 2020
- 22) App store: Ready for Play – 金大整形トレ。 < <https://itunes.apple.com/jp/app/ready-for-play-%E9%87%91%E5%A4%A7%E6%95%B4%E5%BD%A2%E3%83%88%E3%83%AC/id1116071591?mt=8> >
- 23) Takata Y, Nakase J, Inaki A, Mochizuki T, Shinozaki K, Asai K, Kinuya S, Tsuchiya H. Skeletal muscle metabolism on whole-body positron emission tomography during pitching. *J Int Soc Sports Nutr* 18(1): 21, 2021
- 24) Shinozaki K, Nakase J, Yoshioka K, Takata Y, Asai K, Kitaoka K, Tsuchiya H. Incidence rates and characteristics of abnormal lumbar findings and low back pain in child and adolescent weightlifter: A prospective three-year cohort study. *PLoS One* 13(10): e0206125, 2018