

からだ（體）を知る



麻見 直美
Omi Naomi

1. はじめに

スポーツ界において「からだ」を測り、「からだ」の状態を知ることが、競技成績に大きく関係することから、古くから様々な方法を駆使して行われてきた。からだの外側の測定で十分な情報を得ることは難しく、「からだ」の内側を正しく測る（評価）することを可能にするX線を活用した技術は、スポーツ界においても大きく貢献している。ここでは、筆者がこれまでにやってきた、『栄養・食生活』と『運動・スポーツ』と『骨』に関する研究や選手サポートの話題を中心に、「からだ」理解へのX線の貢献を紹介する。

2. 骨の状態を知る

古くから骨折の有無や、骨年齢の評価、骨量の推定等に広くX線撮影が行われてきた。1990年前後の飛躍的な骨評価技術の進化により、骨の状態を知る目的の1つに骨折リスクの把握が加わった。すなわち、標準的な骨の量に対して、対象部位の骨量がどのような状態で、それに伴ってどの程度の骨折リスクがあるかを把握するのである。スポーツ界においても、けがの診断のみならず、競技者としての選手生命にかかわるリスク管理（骨折リスクの管理）が加わったと言えよう。骨強度が充分であれば、骨折のリスクは低くなる。したがって骨強度の指標と

して骨密度を測定する。骨強度の決定因子は種々あるが、骨密度が骨強度の70%を規定すると言われていることから、骨密度を測定し、骨折リスクを把握するのである。骨密度を安全にかつ簡便に測定できる方法がDXA（dual-energy X-ray absorptiometry）法である。更に、現在DXA法では骨密度のみならず、体脂肪量及び除脂肪量を高い精度で同時に評価することが可能である。スポーツ選手にとって、体脂肪量や除脂肪量を知ることの利点については後述するが、DXA法では競技者の体組成を丸々測定できることから、その魅力は計り知れない。

栄養素等の過不足とスポーツ選手の骨折リスクの関係を知ることは、一般の人の健康の維持増進のための望ましい食の提案や適切な運動の提案にも発展し得る知見となる。図1は、陸上女子大学生トップ選手の全身骨密度と食習慣の関係を示している。トレーニング等に伴う身体への荷重刺激は、一般的には骨代謝を活性化し高い骨密度をもたらすが、ここに示すように栄養素等摂取の過不足により運動の骨への良い効果が見られない場合があることが分かる。サポート現場ではこれら結果を基に、食生活改善の指針を立てサポートを実践する。このような結果のフィードバック（自分の骨の画像と骨密度のレベルを知ること）は選手の競技力向上のための様々な取り組みへのモチベーションの維持向上にも極めて有効となっている。

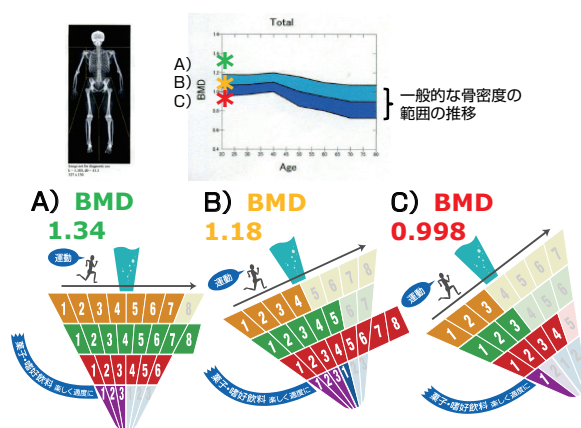


図1 習慣的な食事状況と骨密度 (BMD) の関係

主食、主菜、副菜、牛乳・乳製品、果物のそれぞれ摂取の量のバランス評価で、習慣的に過不足が見られる選手の BMD は低いことが示された。A) 望ましい量・バランスの選手、B) 主食摂取が少なく、主菜が多い選手 (しばしばアスリートで見られる食事状況)、C) 量・バランス共に不足した選手

大学生トップ選手の全身骨密度の専門競技種目ごとの比較を図2に女子選手、図3に男子選手を示した。更に、図4は図3の対象選手と同じ選手の上肢骨密度である。これらから、競技特性による骨密度の違いが分かる。また、骨密度測定がよく行われるようになって以来、例えば、テニス選手の利き腕と非利き腕の骨密度の差や、陸上選手の下肢骨密度の左右差等から、よく使われる部分の骨密度が高くなることが明らかとなり、より一層運動の骨代謝改善効果が知られるところとなった¹⁾。図5は、サウスポーのプロ野球投手の全身骨密度測定結果であるが、画像上でも左上肢の骨が鮮明に写っていることから推察できるとおり、骨塩量 (BMC)、骨密度 (BMD) の数値からもその左右差は歴然でトレーニングの影響の大きさが分かる。

栄養素等摂取に不足のあるような食習慣の選手の骨密度が低いことを前述したが、昨今、より注目されるようになった FAT (Female Athlete Triad) は、利用可能エネルギー (energy availability) が低値であること、及び運動性無月経、骨粗鬆症 (低骨密度) がそれぞれ相互に関連をもって起きる女性競技者にとって深刻な健康管理上の問題である。利用可能エネルギーは、「(摂取エネルギー量) - (運動による消費エネルギー量)」あるいは「{(摂取エネルギー量) - (運動による消費エネルギー量)} / 除脂肪体重」で表され、運動量に見合ったエネルギー補給ができているか否かを示す値である。FAT における低骨密

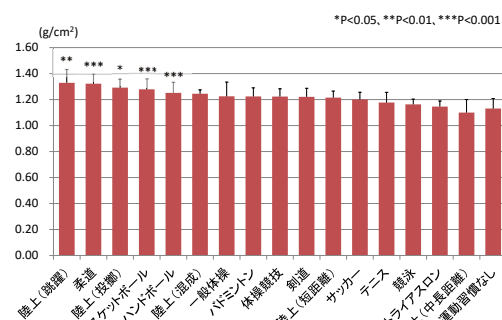


図2 女子大学生アスリートの全身骨密度

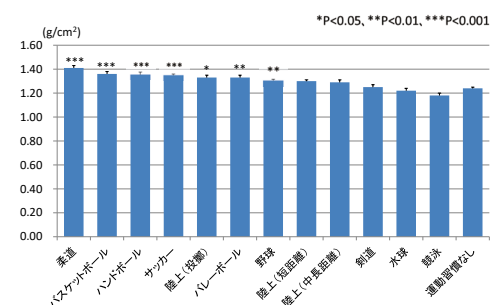


図3 男子大学生アスリートの全身骨密度 (年齢、体重調整済)

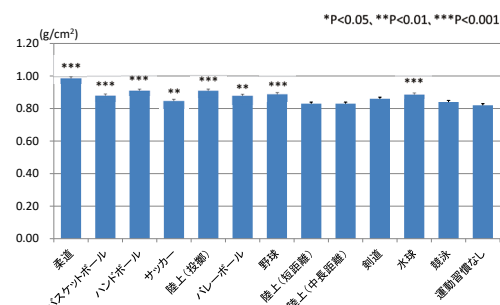


図4 男子大学生アスリートの上肢骨密度 (年齢、体重調整済)

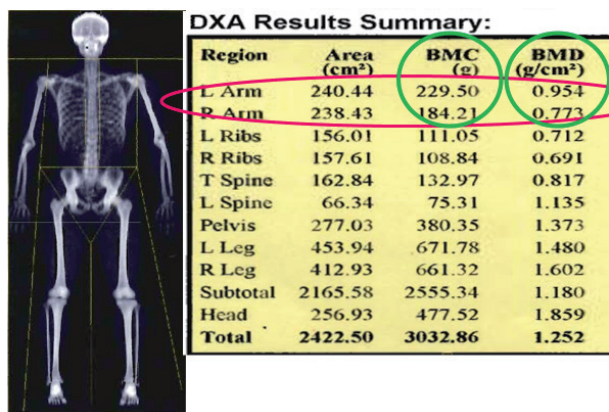


図5 サウスポーのプロ野球投手の上肢骨塩量 (BMC), 骨密度 (BMD) の左右差の一例

よく使う左腕の BMC, BMD が右腕と比べて明らかに高値であることが分かる。トレーニング量の差 (多・少) の影響が明白

度に起因する骨折は、多発したり、繰り返したりと、その回復、改善が困難であることも知られるところであり、選手生命に影響する大きな問題である。早期からの予防こそが重要で、そのためにも骨密度測定により競技者自身が自身の体の状況を知ることは重要となる。競技成績を追うばかりにオーバートレーニングとなっていたり等を選手自身や、コーチ、監督、サポートスタッフが適切に把握するためにも、選手の骨を測る意義は大きい。

DXA 法による骨密度測定の有用性は上記のように明らかであるが、DXA 法による骨密度は平面骨密度 (g/cm² あるいは mg/cm² で表される) であることは留意すべきである。密度は、本来、体積あたりの目的物の量を示すが、DXA 法の場合、X 線の投影面積あたりどれだけの骨塩 (DXA 法で対象としている物質は、骨塩の主な成分であるハイドロキシアパタイトである) があるかを測定している。解析によって、関心領域を設定することで、その面積、骨塩量から骨密度を求めている。したがって、成長期にあるスポーツ選手の経時的な変化を追跡する場合には、骨サイズ (DXA 法における Area) の変化に着目する必要がある。少ない被ばく (腰椎の通常測定で表面線量が 0.2 mGy 以下、実効線量が 0.08 mSv、高速測定で表面線量 0.07 mGy 以下、実効線量 0.03 mSv、股関節の通常測定で表面線量 0.2 mGy 以下、実効線量 0.11 mSv、高速測定で 0.07 mGy 以下、0.04 mSv、前腕測定では 0.05 mGy 以下、0.001 mSv、全身測定で表面線量 0.01 mGy 以下、実効線量 0.005 mSv と報告されている。胸部の正面の一般撮

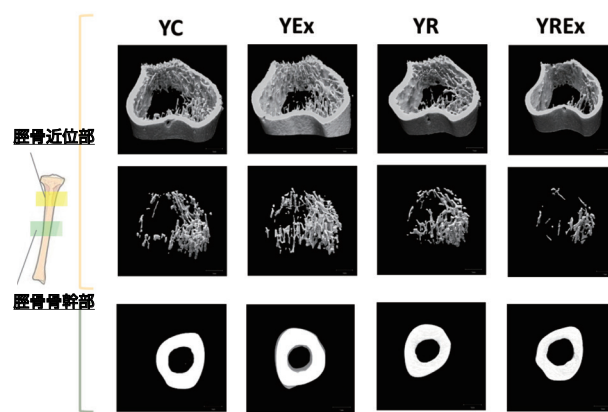


図6 運動と食餌制限が骨に及ぼす影響を検討した動物実験における脛骨のマイクロ CT 画像²⁾

YC: 通常食非運動群, YEx: 通常食走運動群, YR: 食餌制限非運動群, YREx: 食餌制限走運動群

影が表面線量 0.2~0.3 mGy, 実効線量 0.08 mSv。胸部の CT 撮影では 15.0~20.0 mGy, 6.9 mSv。年間の全身の体外被ばくが宇宙線によるもので 0.38~0.39 mSv, 大地によるもので 0.46~0.48 mSv。自然被ばく (全身) の計が 2.4~2.42 mSv というデータの比較から考えて、少ない被ばくでの測定が可能と言える。), 短時間測定 (全身骨密度で 3 分以内、腰椎、大腿骨頸部、前腕骨等の特定部位は各数十秒)、CV% も phantom 測定では一般に 0.5% 以下、実測定においても同じ場所に同じ格好で同じ角度で、同一の条件で測定できれば、その CV% は 1% 以内で、一般に同一被験者の繰り返し測定で 1~2% と高い精度の測定ができる。DXA 法により得られる骨密度が平面骨密度であることを十分理解してよりよく活用することが望まれる。

研究においては、DXA 法の平面骨密度であることの不利益を補填する意味でも、時に CT による評価を加えることがある。

図6に、運動と食餌制限が骨に及ぼす影響を成長期雄ラットを用いて検討した研究における脛骨の microCT 画像を示す。海綿骨が多い脛骨近位部と皮質骨主体の脛骨骨幹部の骨の状態を検討した。YC 群は自由に食餌摂取ができる群で、その骨の状態に比べ、自発走運動を行っている YEx 群の骨は骨梁が増え、皮質骨幅も厚くなっている。食餌量を 70% に制限した YR 群では骨梁、皮質骨幅の減少が見られる。更に、食餌制限下における自発走運動では、本来の骨に対する運動の好影響は認められず、最も骨梁が減り、皮質骨幅も薄くなっている。ラットモー

DXA Results Summary:

Region	Fat (g)	Lean+BMC (g)	% Fat
L Arm	460.1	3666.3	11.1
R Arm	456.1	3040.3	13.0
Trunk	5594.8	29727.0	10.2
L Leg	1725.9	11565.2	13.0
R Leg	1689.7	10950.6	13.4
Subtotal	7726.4	58949.5	11.6
Head	948.0	3783.5	20.0
Total	8674.4	62733.0	12.1

図7 サウスポーのプロ野球投手の上肢除脂肪量、脂肪率の左右差について

よく使う左は除脂肪量が多く、脂肪率が低いことが示された

ドを用いた DXA 法による骨密度測定においても、同様の結果が得られている²⁾。この基礎研究から、運動量に比べてエネルギー摂取量が不足している状況では雌性動物のみならず、雄性動物においても低骨密度となり骨折リスクが高まることを明らかにした。男子長距離選手における疲労骨折の原因の一部を明らかにした研究となった。

3. 除脂肪量・脂肪量（体組成）を知る

全身の DXA 測定では、除脂肪量及び脂肪量についても精度の高い測定が可能である。スポーツ選手の体組成測定は、そのトレーニング効果の把握のためにも頻度高く実施することが一般的であるため、少なからず被ばくのある DXA 法による測定は、真に近い値を知るための測定や、1 年をとおした競技期分けに応じて、競技種目ごとに重要と考えるポイント（年数回程度）での測定に用いる。DXA 法による測定頻度の目安の 1 つは、医療現場における DXA 法による骨密度測定が一般に 3 か月以上の間隔を開けて行われることを参考にすると良い。したがって、除脂肪量・脂肪量の変化を追跡するためには毎日の繰り返し測定が可能なインピーダンス法と組み合わせで実施する。なお、骨代謝を改善しうる薬物等による治療効果を判定するための測定において 3 か月以上の間隔をおいていること、骨の代謝は他の組織と比べ代謝が遅いことも考慮し、骨の変化の追跡については、3 か月以上の間隔を開けた測定が良い。DXA 法による除脂肪量、脂肪量の測定は、

骨塩量測定と同様に、目的組織を直接的に測定していることから、得られる数字は真に近く、現在では DXA 法が、体組成測定法のゴールドスタンダードとなっている。以前は水中体重法による脂肪量推定等が行われていたが、その危険性、対象者の負担等からも、安全に簡便に実施できる DXA 法が用いられている。ただし、繰り返しになるが被ばくの関係から毎日の経時変化は追跡できない。したがって、重要タイミングに同日に DXA 法とインピーダンス法とで測定し、両者の関係性を把握した上で、頻回の繰り返し測定をインピーダンス法で行って、計量のある競技の減量や、コンディション調整に活用する。

図7に、前出のサウスポー投手の DXA 法による全身測定時の脂肪量 (Fat g)、除脂肪量 (Lean + BMC g)、体脂肪率 (Fat%) を示す。前出の骨塩量・骨密度と同様に、左をよく使うことによる左右差が顕著に表れている。これだけの精度で体組成を測定できることから、トレーニングの効果として、適切に筋量が増加したか、脂肪量が減ったかの精度の高い評価が可能である。

図8はアメフト選手に EMIQ（酵素処理イソクエルシトリン）とプロテインパウダーの混合物かプロテインパウダー単独を 4 か月摂取させた前後の体組成を DXA 法を用いて測定したランダム化プラセボコントロールダブルブラインド試験の結果である。EMIQ を含むプロテインパウダーを摂取した群の下肢筋量と下肢除脂肪体重が有意に増加した。抗炎症作用のある EMIQ の筋量増加促進作用の一端が明らかとなった³⁾。また、図9は、1 年にわたるプロ

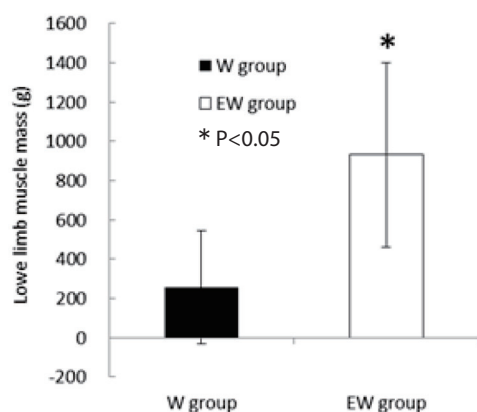


図8 アメフト選手の下肢筋量の変化³⁾

介入試験開始前には、同程度だった筋量が4か月のトレーニング期間中、ホエイプロテインを摂取した場合と、EMICを含むプロテインを摂取した場合を比較すると、EMICを含むプロテインを摂取した方が筋量の増加が多かった

テイン摂取と筋量の関係を追跡した結果であるが、ホエイプロテイン単独摂取群とマリンコラーゲンを含むホエイプロテイン摂取群の比較において、マリンコラーゲンを含むホエイプロテイン摂取群の方が体づくり期の筋量増加量が多く、試合期の筋量減少量も少ないことを明らかにした⁴⁾。このような、サプリメントの有効性評価においても精度よく體の変化を評価できる。

更に、DXA法による体組成評価はパラアスリートの体組成評価においても有効である⁵⁾。障害により単独立位が困難なパラアスリートにとって、ベッドに仰臥位で寝ることで、安全に短時間で全身の体組成を測定することができることから、障害に起因する低骨密度状態の骨折リスク評価や、トレーニングによる関心部位の筋量増加、脂肪量減少を追跡す

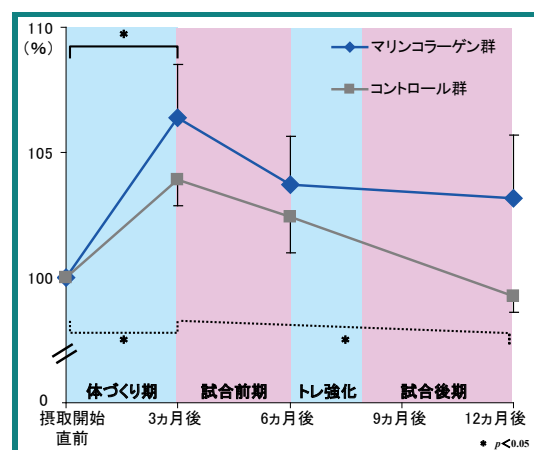


図9 1年間のマリンコラーゲン摂取の筋量変化に及ぼす影響⁴⁾

体づくり期に増加した筋量が試合期においてもマリンコラーゲンによって維持された

ることができ、コンディショニングに寄与しうるデータとなっている。

このように、スポーツ界における「からだ（體）」を知る手段の1つとして、X線を用いた測定技術は極めて有効で、選手の競技力向上に寄与している。

参考文献

- 1) Naomi, Omi, et al., *Osteoporosis Japan*, **20**, 232-235 (2012)
- 2) Hattori, S., et al., *J Nutr Sci Vitaminol*, **60**, 35-42 (2014)
- 3) Naomi, Omi, et al., *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, **16**, 39-48 (2019)
- 4) 岩佐慎也, 他, *Food Style* **21**, 14:62-65 (2010)
- 5) 渡部海帆, 他, 第74回日本体力医学会大会抄録集, つくば (2019)

(筑波大学体育系運動栄養学研究室)