

令和 7 年 6 月 23 日現在

機関番号：35310

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2024

課題番号：20K23212

研究課題名（和文）骨粗鬆症簡易指標作成についての基礎的データー骨密度と皮膚・爪・関節の関連一

研究課題名（英文）Basic data on the creation of a simple osteoporosis index

研究代表者

田中 愛子（Tanaka, Aiko）

山陽学園大学・看護学部・講師

研究者番号：40740650

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,700,000円

研究成果の概要（和文）：現在、高齢化とともに増加する骨粗鬆症や骨折の増加が問題となっており、骨粗鬆症の早期発見・早期予防は重要な課題である。日常的に骨を意識する手段があれば、骨粗鬆症検診の受診率増加や骨粗鬆症・脆弱性骨折の予防に有効であると考え。本研究では、骨と組織の比熱の差が骨粗鬆症の簡易指標となるかについて検証した。

結果、脛骨内側面と冷却した時の組織のエネルギー移動が有意となった。このことより、組織熱容量の測定は、骨量の推定に有用である可能性が示唆された。今後は、今回の測定方法を再考し更なる検討が必要であると考え。また、元々の課題であった皮膚・爪・関節との関連も検討を続けていく。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在は骨密度測定のために医療機関へ行ったり、専門職が操作する医療機器によってのみ測定することが可能である。また、骨粗鬆症は自覚症状がほとんどないため自身の骨の状態を認識することが難しく、痛みが出現してからでないと気付くことができないことが多かった。しかし、医療機関や専門知識を問わずに簡便に骨密度が測定することができるになれば早期に骨の状態を知り、受診をすることができる。本研究は、その簡便な骨密度測定を可能にするための一歩として、測定しやすい「すね・内くるぶし」を使用し、冷却による変化のみを測定した。その結果、有用性が示唆され、新たな骨密度測定の方法を見出すきっかけとなった。

研究成果の概要（英文）：Currently, the increase in osteoporosis and fractures that occurs with aging is a problem, and early detection and prevention of osteoporosis are important issues. We believe that if there were a way to be aware of bones on a daily basis, it would be effective in increasing the rate of people taking osteoporosis screening and preventing osteoporosis and fragility fractures. In this study, we investigated whether the difference in specific heat between bone and tissue can be used as a simple indicator of osteoporosis.

As a result, the energy transfer between the medial surface of the tibia and the tissue when cooled was significant. This suggests that measuring tissue heat capacity may be useful for estimating bone mass. We believe that it is necessary to reconsider this measurement method and conduct further studies in the future. We will also continue to examine the relationship with skin, nails, and joints, which was the original issue.

研究分野：老年看護学

キーワード：骨密度 比熱

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高齢化とともに増加する骨粗鬆症や骨折の増加が社会的に問題となっており、骨粗鬆症の早期発見・早期予防は重要な課題である。現在は医療機器を用いなければ自らの骨の状態を知ることは困難であるため、日常的に骨を意識する手段があれば、骨粗鬆症検診の受診など、骨粗鬆症・脆弱性骨折の予防につながると考える。そのためには、骨粗鬆症の簡易的な指標が必要である。

骨組織は、他の組織と比較して比熱が低いことが報告されている¹⁾。骨格の比熱は 1.313kJ/kg/ であるのに対し、赤色骨髄、脂肪組織、全身の比熱はそれぞれ 2.666 、 2.348 、 $2.981.313\text{kJ/kg/}$ であると報告されている²⁾。さらに、骨粗鬆症により骨組織が失われた場合、そのスペースは造血組織、脂肪組織、結合組織などの組織に置き換えられる可能性が高く、これらの組織は骨よりも比熱が高い。この骨と組織の比熱の差を利用すれば、より簡便で侵襲の少ない方法で骨量を推定できる方法を開発できる可能性がある。そこで、比熱の差に着目し、骨密度の指標になるかを検討することとした。

2. 研究の目的

本研究の目的は、骨密度と比熱の差の関連についての基礎的データを得ることである。

3. 研究の方法

1) 対象者

A県内に自立して生活している、皮膚に異常のない20~80歳代の男女68名(男性29名、女性39名)を対象とした。

2) 方法

冷却装置は、フレーク状の氷と水をゴム製の氷嚢に入れ使用した。センサー貼付後は乾いたタオルを二重に折ったもので皮膚を覆い、冷却する際にはその上から氷嚢を当てた。温度・熱流の測定は、温度センサーと熱流センサーを使用し、同一部位で測定できるようにあらかじめ熱伝導性の両面テープで張り合わせた。皮膚側から温度センサー、熱流センサーの順になるように使用した。骨密度の測定は、超音波骨密度測定器を使用し、指標としてTスコアの音響的評価値の標準偏差を使用した。(音響的評価値は、透過指標×音速²の式から求める)

3) 測定手順

基本属性(年齢、性別、身長、体重、既往歴)を研究者が聞き取り、身長・体重を計測した。ベッド上で安静臥床または長坐位になってもらい、脛骨の内顆および下腿中央付近の脛骨内側面を覆う皮膚上に温度センサーと熱流センサーを貼付し、乾いたタオルで覆った。定常時の皮膚音と熱流を3分間記録後、氷嚢を用いて冷却し、温度と熱流の変化を脛骨内側面、脛骨内顆の順番でそれぞれ30秒間記録した。5分間の休憩後、測定を繰り返した(図1)。

データの解析は、分析ソフト(SPSS Version.24)を用いた。正規性や相関を確認し、従属変数をTスコアの標準偏差(以下T_OSISD)、独立変数を年齢、性別、身長、体重、脛骨内側面および内顆の皮膚温の1変化あたりのエネルギー移動量($\text{kJ/m}^2/$)として、重回帰分析のステップワイズ法を行った。 p 値は0.05未満を有意とした。

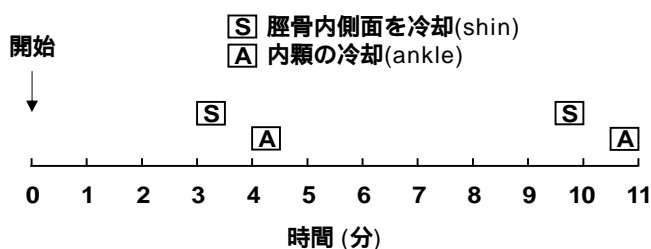


図1. 熱流・温度変化の測定プロトコル

4. 研究成果

1) 冷却の有無による熱流と温度変化について

冷却による典型的な熱流と温度変化を図2に示す。非冷却時は、皮膚表面温度が周囲温度より高いため、わずかな熱流が観察され、皮膚表面温度はほぼ一定であった。非冷却時の表面温度は、脛骨内側面が 33.8 ± 0.85 、内顆が 32.6 ± 1.64 であった。冷却開始後、熱流は急激に増加し、皮膚表面温度はほぼ直線的に低下した。エネルギー移動量(kJ/m^2)は、非冷却時間と冷却時間(0~20秒)の熱流(W/m^2)を20秒間の値で積分することにより算出した。熱流量と温度変化について、表1に示した。

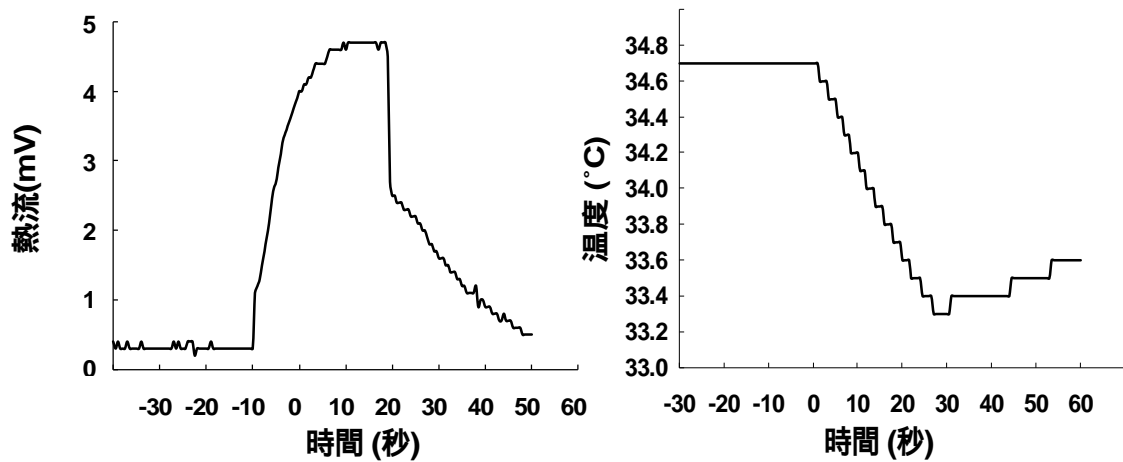


図 2 . 冷却中の典型的な熱流・温度

表 1 . 熱流量と温度変化

	脛骨内側面	内顆
20 秒間の熱エネルギー(kJ/m ²)		
非冷却時	0.756 ± 0.280	0.458 ± 0.271
冷却時	7.56 ± 1.39	6.54 ± 1.56
冷却後 20 秒間の温度変化(°C)	1.14 ± 0.23	1.15 ± 0.28
温度変化 1 あたりのエネルギー移動量(kJ/m ² /°C)	6.03 ± 0.72	5.36 ± 0.85

2) T_OSISD と温度変化 1 あたりのエネルギー移動量との相関

T_OSISD と脛骨内側面および内顆で測定した温度変化 1 あたりのエネルギー移動量との間でピアソンの相関係数を算出した。

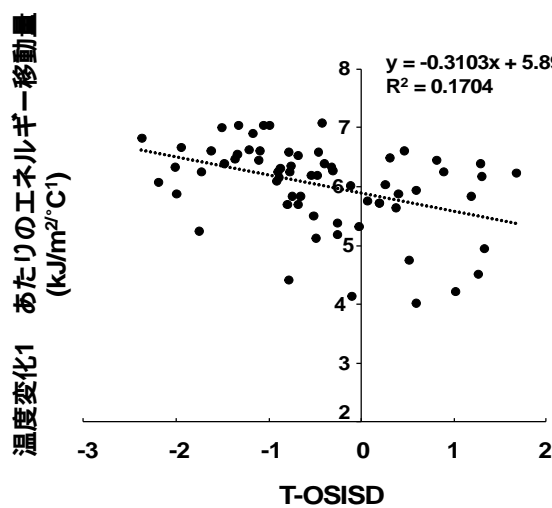


図 3 . 脛骨内側面の散布図・回帰式

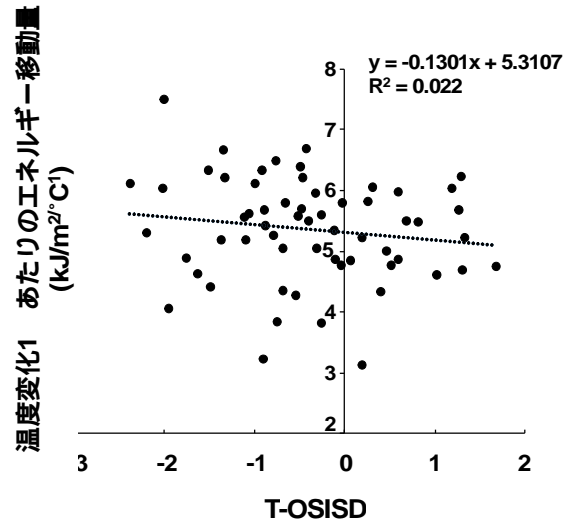


図 4 . 内顆の散布図・回帰式

脛骨内側面と温度変化 1 あたりのエネルギー移動量には有意な負の相関が認められた ($r = -0.413, p = 0.001$) (図 3)。しかし、内顆では T_OSISD と温度変化 1 あたりのエネルギー移動量との間に有意な相関はみられなかった ($r = -0.148, p = 0.258$) (図 4)。

3) 重回帰分析

事前の Shapiro-Wilk 検定によると、T_OSISD、身長、脛骨内側面と内顆の温度変化 1 あたりのエネルギー移動量は正規分布していたが、性別、年齢、体重は正規分布していなかった。Pearson の相関により多重共線性を調べたところ、相関の絶対値が 0.9 を超える変数はなかつ

た。T_OSISD を予測するために、ステップワイズ法を用いて重回帰分析を行った。独立変数は年齢、性別、身長、体重、脛骨内側面または内頤の温度変化 1 あたりのエネルギー移動量 ($\text{kJ}/\text{m}^2/$) とした。脛骨内側面のデータを含めると、年齢、身長とともに T_OSISD を統計的に予測した ($R^2 = 0.458$ (表 2))。一方、内頤のデータを含めると、T_OSISD を予測するのに統計的に有意でなく、年齢と身長のみ T_OSISD 予測に有意であった ($R^2 = 0.402$) (表 3)。

表 2 . 脛骨内側面のデータを使用した重回帰分析の結果

	非標準化		標準化		B の		VIF
	係数		係数		95%信頼区間		
	B	標準偏差	β	p	下限	上限	
(定数)	-3.338	1.861		0.078	-7.059	0.384	
年齢	-0.016	0.004	-0.424	0.000	-0.023	-0.008	1.159
身長	0.035	0.010	0.320	0.001	0.014	0.056	1.014
温度変化 1							
あたりの	-0.334	0.135	-0.252	0.016	-0.604	-0.064	1.144
エネルギー移動量							

$R^2 = 0.458$, 調整後 $R^2 = 0.430$, ANOVA $p < 0.001$

表 3 . 内頤のデータを使用した重回帰分析の結果

	非標準化		標準化		B の		VIF
	係数		係数		95%信頼区間		
	B	標準偏差	β	p	下限	上限	
(定数)	-5.166	1.856		0.007	-8.884	-1.447	
年齢	-0.019	0.004	-0.513	0.000	-0.027	-0.011	1.013
身長	0.035	0.011	0.318	0.003	0.012	0.057	1.013

$R^2 = 0.402$, 調整後 $R^2 = 0.381$, ANOVA $p < 0.001$

4) まとめ

脛骨内側面で測定された温度変化 1 あたりのエネルギー移動量は、年齢、身長とともに T_OSISD の有意な予測因子となった。一方、内頤のデータでは有意にならず、年齢と身長のみが有意な因子となった。これらと比較すると、年齢と身長だけでは R^2 値は 0.402 と低かったが、脛骨内側面のデータを含めると R^2 値は 0.461 まで改善した。このことより、組織熱容量の測定は骨量の推定に有用である可能性があると考えられる。

しかし、今回の測定において、冷却方法・測定部位・測定方法について改善すべき点は多くあり、今後も適切な方法を検討する必要がある。また、対象者においても T_OSISD が -2.0 未満の参加者が比較的少なかった。今後、基準値を検討する場合には幅広い年齢層・性別の対象者を均等に測定し分析する必要がある。また、低骨密度の基準を検討するためには、より骨密度が低い対象者の比熱データが必要となる。骨密度の値に関しては、今回定量的超音波測定器の値を使用し分析したが、診断基準として使用されている DXA 法の値と必ずしも相関しない研究もある。そのため、今後はより信頼性の高い DXA 法の値を使用することを検討すべきである。

5) 看護への示唆

本研究は、簡易で誰でも使用しやすい骨密度の測定ができる指標を検討すべく研究を行った。今回検討した組織の比熱は、X 線や超音波のように場所の制限がほとんどなく、 Consent などの電源を必要としない。また、X 線のように侵襲もないと考える。熱特性を利用した骨密度測定器が開発されれば、血圧計や体温計のように一般の方にも身近な機器として利用することができる。

また、骨密度のスクリーニングの敷居が低くなれば、多様な対象者が測定することができ、自身の骨密度を認識することで骨粗鬆症の予防意識が高まると考える。もし、スクリーニングで気

になる場合には、早期に医療機関を受診し、骨粗鬆症の早期発見・早期治療を行うことにつながる。骨粗鬆症の予防は、性別・年齢を問わず必要となるため、今後の研究では性差や基準値などを検討していく必要がある。

6) 今後の研究に向けて

本課題の元々のテーマであった、「皮膚・爪・関節と骨密度」の分析に関しては、データ数が少なく学会発表や論文投稿に至っていない。このテーマに関しても方法等を再検討し、骨密度（骨粗鬆症）の簡易指標となるかについて研究を進めていきたい。

- 1) Bianchi L, Cavarzan F, Ciampitti L, Cremonesi M, Grilli F, Saccomandi P (2022) Thermophysical and mechanical properties of biological tissues as a function of temperature: a systematic literature review. *Int J Hyperthermia* 39:297-340.
- 2) Xu X, Rioux TP, Castellani MP (2022) The specific heat of the human body is lower than previously believed: *The journal Temperature toolbox. Temperature (Austin)* 10:235-239.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Aiko Tanaka, Tetsuya Ogino	4. 巻 37
2. 論文標題 Bone density estimation using tissue heat capacity	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Clinical Anatomy	6. 最初と最後の頁 466-471
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/ca.24153	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 田中愛子, 荻野哲也
2. 発表標題 組織熱容量による骨密度の推定
3. 学会等名 第三回日本ヘルスケアプロダクツ学会・日本機能性香料医学会学術総会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	荻野 哲也 (Ogino Tetsuya)		
研究協力者	奥山 真由美 (Okuyama Mayumi)		
研究協力者	荒木 大治 (Araki Daiji)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------