

ための、広く受け入れられるサルコペニアの定義は未だ存在しないのが現状である⁵⁾。

I. サルコペニアの定義

このように筋肉量のみでサルコペニアを定義した研究が主流である時代が続いたが、筋肉量だけでは不十分であるという認識が臨床医、研究者、製薬会社、行政機関に次第に広まった。サルコペニアは、せん妄、転倒および失禁などと同様に老年症候群の一つと考えられるため、真の原因が未解明であっても、その実態解明や治療は推進されるべき⁵⁾とされ、運動機能障害、転倒・骨折リスクの上昇、日常生活活動能力 (ADL) の低下、身体障害、自立喪失、および死亡リスクの増大などの健康障害に繋がる^{6)~10)}とされている。筋肉量がこれらの転帰の予測因子であることを多くの研究が示す一方、筋肉量は弱い予測因子にすぎないという指摘もある¹¹⁾。そこで、筋肉量以外の因子を考慮した定義が二つ提示された。

1. the European Working Group on Sarcopenia in Older People (EWGSOP) の定義⁵⁾

EWGSOP は欧州関連学会のコンセンサスをまとめ、定義は、“サルコペニアは、身体的な障害や生活の質の低下、および死などの有害な転帰のリスクを伴うものであり、進行性および全身性の骨格筋肉量および骨格筋力の低下を特徴とする症候群である”とされている。本論文は厚生労働科学研究補助金高齢者における加齢性筋肉減弱現象 (サルコペニア) に関する予防対策確立のための包括的研究研究班と日本老年医学会により Q&A の解説つきで監訳されている¹²⁾。このコンセンサスでは、筋肉量低下と筋機能 (筋力あるいは身体能力) 低下の存在をサルコペニアの診断に用いることが推奨され、サルコペニアは全身性疾患で筋肉量と筋力の低下によって有害転帰のリスクがもたらされると解釈されるが、後述するように、診断基準の組み立てにおいては、筋肉量と筋力は同列でなく、身体能力も同様であり、最終判定項目には筋肉量が当てられている。

2. the Society for Sarcopenia, Cachexia and Wasting Disorders (SSCWD) の定義¹³⁾

SSCWD では、サルコペニア疾患概念の定義は古典的な“筋肉量の低下”のまま単一疾患ではなく症候群とし、それとは別に、なんらかの治療介入が必要なサルコペニアを“sarcopenia with limited mobility (移動能力の低下した

老年症候群

筋肉量低下と筋機能低下

sarcopenia with limited mobility

治療介入基準 サルコペニア)” という表現で定義した。つまり、移動能力にカットオフ値を設定して、それ以下の移動能力に陥ったサルコペニア患者には積極的な治療介入が必要とするというものである。この介入基準が、ADLの低下、入院、介護施設入居、外傷性転倒、死など、サルコペニアの有意義な臨床的エンドポイントにとって、意味のある代替指標であることが期されている。

移動能力障害リスク 骨粗鬆症の治療介入がその主要エンドポイントである骨折リスクを予測する代替指標で判定されるのと同様に、この論文には、サルコペニアの単一主要エンドポイントは明記されていないが、limited mobility, mobility disability, mobility impairmentなどが意味する移動能力障害のリスクにあるものと解釈でき、サルコペニアが日本整形外科学会の提唱するロコモティブシンドローム（運動器症候群）の関節症や骨粗鬆症と並ぶ基礎疾患であると考えられる。

なお、後述するように、移動能力障害リスクの評価には、歩行速度、あるいは時間内歩行距離が採り上げられている。

II. 骨格筋肉量の測定法

骨量測定 骨量 (bone mineral content) を正確に測定する方法として始まった単一光子吸収法 (single photon absorptiometry) は、やがて二光子吸収法 (dual photon absorptiometry) に発展したが、この方法による体組成組織量の測定が報告されるようになったのは1980年代半ばからである。さらに二重エネルギーX線吸収法 (dual energy X-ray absorptiometry : DEXA) が登場し、全身および各部位における脂肪量 (fat mass) の高精度の算定によって、骨量と軟部組織量の計測能が大きく向上した。以来、われわれはDEXAの全身モードによって容易に正確で再現性のよい体組成測定ができるようになった。つまり、軟部組織除脂肪量 (lean body mass) も高精度に測定できるので、筋肉量の測定も大きく進歩した¹⁴⁾。

四肢骨格筋肉量 つまり、全身各部位のうち、四肢の軟部組織除脂肪量は、神経や血管等の筋肉以外の組織が含まれるものの、その量はわずかで実際の筋肉量にもっとも近似すると考えられる。1998年にBaumgartnerらは、この四肢の除脂肪量がほとんど筋肉量といえることに着目して、DEXA法で筋肉量を評価法するときには、四肢骨格筋肉量 (appendicular skeletal muscle mass index : ASM) を用いることを提唱し、ASMの誤差が3.0%でCTやMRIで測定した場合と5%以下の高い信頼性を有することを検証したうえで、強い相関を有する身長、性差、人種差の影響を効率的に除外できる調整法として、ASMを身長の2乗で除した値 (kg/m²) を骨格筋肉量指標 (skeletal muscle mass index : SMI) を提唱した¹⁵⁾。

$$\text{骨格筋肉量指標 (SMI)} = \text{四肢筋肉量 (kg)} / \text{身長 (m)}^2$$

同時に、上記式によって得られる SMI のサルコペニアのカットオフ値として、白人一般住民男女の SMI の若年成人 (18~40 歳) 平均値 (YAM) から 2SD を引いた値である、男性 7.26 kg/m²、女性 5.45 kg/m² を提案した¹⁵⁾。この SMI によって診断する考え方は、画期的で当時の研究の流れに大きな影響を与え、筋肉量のみでサルコペニアを判断する時代が長く続いた。

筋肉量変化と筋力変化

現在も、筋肉量と筋力では筋肉量が優先されて扱われる傾向は継続しているが、筋肉量を増加する介入が必ずしも筋力をも増加させるとは限らないという報告¹⁶⁾ や、高齢者では、筋肉量変化と筋力変化の相関は一定でなく、それほど強いものではないという報告¹⁷⁾ など、筋肉量と筋力の関係が必ずしも一定でないことも示されるようになり、筋肉量に対する信頼性が揺らぐデータも多く出されてきた。

Ⅲ. サルコペニアの診断

1. EWGSOP によるサルコペニアの診断基準⁵⁾

筋力
身体能力

EWGSOP では、筋肉量と筋力の低下が身体活動障害をもたらす症候群と定義されたのに合わせて、診断基準には、筋肉量に筋力、身体能力が加わった。筋肉量の減少は必須条件だが、筋力低下や身体能力低下は必須ではなく、どちらかがあれば、サルコペニアと診断するという仕組みである。

プレ・サルコペニア

概念的病期分類も設定され、筋肉量減少のみで筋力低下や身体能力低下がない場合は“プレ・サルコペニア”、筋肉量減少に、筋力減少あるいは身体能力低下があれば“サルコペニア”、筋肉量減少、筋力低下、身体能力低下が三つともそろう場合は“重症サルコペニア”と分類された。

重症サルコペニア
診断アルゴリズム

歩行速度

握力

診断アルゴリズムを図 1 に示す。身体能力からスクリーニングを開始し、その具体的評価項目として歩行速度が選定され、カットオフ値は 0.8 m/s と相当に遅い値になっている。さらに、筋力には握力が選ばれ、筋肉量は診断に必須評価項目である。筋肉量、筋力、身体能力のカットオフ値が別に列記されている。筋肉量は身長補正されたものを扱うが、部位は四肢あるいは全身のどちらかを用いるとされる。わが国では、Sanada らによって日本人の YAM-2SD の値として、男性が 6.87 kg/m²、女性が 5.46 kg/m² と発表されており、当面はこのカットオフ値を使用するのが妥当と思われる¹⁸⁾。

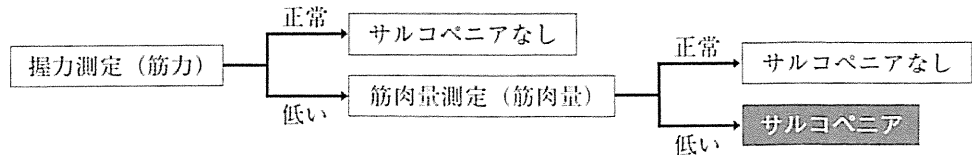
2. SSCWD によるサルコペニアの治療介入基準¹³⁾

移動能力の低下

SSCWD が治療介入の要否を判定するために提案した“移動能力の低下した

対象：65歳以上

・歩行速度測定（身体能力）：>0.8 m/s の場合



・歩行速度測定：<0.8 m/s の場合

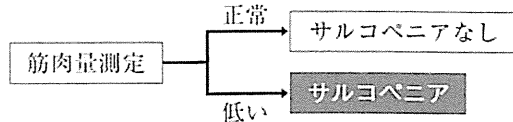


図1 the European Working Group on Sarcopenia in Older People (EWGSOP) による「サルコペニア」の診断手順

[文献5)より作成]

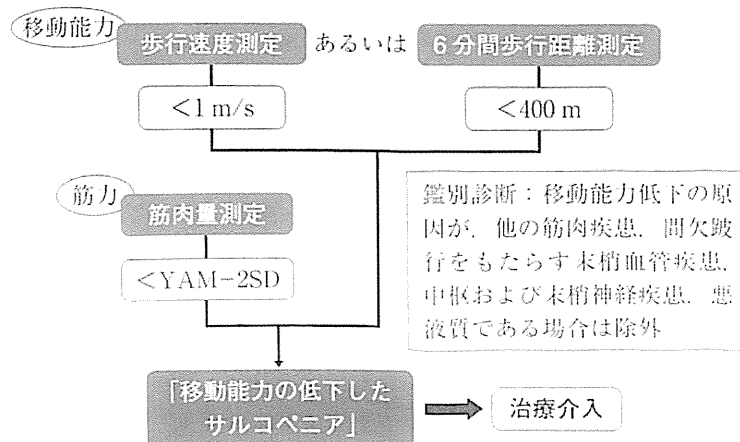


図2 the Society of Sarcopenia, Cachexia and Wasting Disorders (SSCWD) による「移動能力の低下したサルコペニア」の診断手順

[文献9)より作成]

サルコペニア”の基準は、SMIが同一人種のYAM（20～30歳）より2SD以上低い筋肉量減少を有する者で、かつ、歩行速度が1 m/s未滿、あるいは、6分間歩行距離が400 m未滿の者と決定された（図2）。ここでは筋力は評価項目として採用されなかった！このようにまだ国際的に診断基準は流動的である。移動能力低下に関しては、他の既知の筋肉疾患、間欠跛行を起こす末梢血管疾患、中枢および末梢神経疾患（脳卒中、パーキンソン病、脊髄疾患、運動ニューロン疾患など）、認知症、悪液質によるものは除外することが明記されている。主要エンドポイントを移動能力障害リスクとした点、筋力を定義に含

筋力を評価に含めない

めず、サルコペニアは筋肉量の減少であるとする古典的考えを継続した点、それに移動能力障害が加わった場合に介入する点などで EWGSOP とは異なっている。また、SSCWD では移動能力障害の原因となる他病態を鑑別することが明記されている。その際に悪液質は鑑別対象としてサルコペニアから切り離れたことも EWGSOP との大きな相違点である。移動能力障害の大きな原因である関節疾患も鑑別疾患に含めるべきと思われる。EWGSOP と同様に年齢についてのコンセンサスは得られていない。

おわりに

冒頭で述べたように、広く受け入れられるサルコペニアの定義や診断基準はまだない。最近の欧米の二つのサルコペニアの定義と診断基準では、筋肉量と歩行速度を扱うことが大きな共通点である。大きな相違点は、筋力の取り扱いと歩行速度のカットオフ値である。筋肉量に関しては両者とも古典的重視の立場を継続し、その基準は SMI で行うことが共通するが、SSCWD は SMI のみとしているが、EWGSOP は補正全身筋肉量も使うとしている。当面は、この二つの診断基準のどちらかで対応しながら、診断を進めるのが妥当と考えられるが、これからの変化を注視することが必要である。

文 献

- 1) 中村耕三：生活人新書 315—新国民病 ロコモティブシンドローム 長寿社会は警告する。NHK 出版、東京、2010。p.21
- 2) 鈴木隆雄：地域高齢者の余命に規定要因—学術的縦断研究 TMIG-LISA から。日老医誌 38：338-340, 2001
- 3) Rosenberg IH：Sarcopenia：origins and clinical relevance. J Nutr 127：90S-991S, 1997
- 4) Morley JE, Baumgartner RN, Roubenoff R, et al：Sarcopenia. J Lab Clin Med 137：231-243, 2001
- 5) Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, et al：Sarcopenia：European consensus on definition and diagnosis：Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. Age Ageing 39：412-423, 2010
- 6) Cawthon PM, Marshall LM, Michael Y, et al：Frailty in older men：prevalence, progression, and relationship with mortality. J Am Geriatr Soc 55：1216-1223, 2007
- 7) Laurentani F, Russo C, Bandinelli S, et al：Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility：an operational diagnosis of sarcopenia. J Appl Physiol 95：1851-1860, 2003
- 8) Rolland Y, Czerwinski S, Abellan Van Kan G, et al：Sarcopenia：its assessment, etiology, pathogenesis, consequences and future perspectives. J Nutr Health Aging 12：433-450, 2008
- 9) Topinkova E：Aging, disability and frailty. Ann Nutr Metab 52：6-11, 2008
- 10) Hartman MJ, Fields DA, Byrne NM, et al：Resistance training improves metabolic economy during functional tasks in older adults. J Strength Cond Res 21：91-95, 2007
- 11) Definition of Sarcopenia. Cruz-Jentoft AJ and Morley JE (eds)：Sarcopenia. Wiley-Blackwell, New Jersey, 2012：p.8-19
- 12) 原田 敦, 秋下雅弘, 江頭正人, 他：サルコペニア：定義と診断に関する欧州関連学会のコンセンサス—高齢者のサルコペニアに関する欧州ワーキンググループの報告—の監訳と本論文に対する

- Q&A. 日老医誌 49 : 788-805, 2012
- 13) Morley JE, Abbatecola AM, Bauer JM, et al : Sarcopenia with limited mobility : an international consensus. J Am Med Dir Assoc 12 : 403-409, 2011
- 14) 原田 敦 : 軟部組織量の測定 骨粗鬆症の診断と鑑別 骨密度測定と脊椎画像診断. 福永仁夫 編 : 骨密度測定の実用. 医薬ジャーナル社, 大阪, 2005. p.144-147
- 15) Baumgartner R, Koehler K, Gallagher D, et al : Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. Am J Epidemiol 147 : 755-763, 1998
- 16) Wittert GA, Chapman IM, Haren MT, et al : Oral testosterone supplementation increases muscle and decreases fat mass in health elderly males with low-normal gonadal status. J Gerontol A Biol Sci Med Sci 58 : 618-625, 2003
- 17) Goodpaster BH, Park SW, Harris TB, et al : The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults : The health, aging and body composition study. J Gerontol A Biol Sci Med Sci 61 : 1059-1064, 2006
- 18) Sanada K, Miyachi M, Tanimoto M, et al : A cross-sectional study of sarcopenia in Japanese

men and women : reference values and association with cardiovascular risk factors. Eur J Appl Physiol 110 : 57-65, 2010

Summary

Diagnosis of sarcopenia

Atsushi Harada*

There is not yet any widely accepted definition of diagnostic criteria for sarcopenia. In a recent European consensus screening is done with a walking speed of 0.8 m/sec and the skeletal muscle index (SMI) is adopted as an essential assessment item for muscle mass. Muscle strength as determined by grip strength is used to aid diagnosis. In another western intervention criterion, walking speed of 1 m/sec and SMI are used to determine whether or not intervention is needed. The use of muscle mass and walking speed in both systems is a major point of commonality, but there are large differences in how muscle strength is handled and in the cutoff values for walking speed.

Key words : sarcopenia, definition, diagnosis, muscle mass

* *Department of Advanced Medicine, National Center for Geriatrics and Gerontology*

IV 骨粗鬆症の診断

医療面接・身体診察

Medical interview, physical examination

原田 敦

Key words : 骨粗鬆症, 医療面接, 身体診察

1 医療面接の意義

一般的に、どんな疾患であっても、患者に面接して得られる情報は、臨床の基本中の基本である。主訴、現病歴、既往歴、家族歴、職業歴、運動歴、栄養、居住環境、社会経済的状況などを患者や家族から聴取する行為を行うことで、患者像のおおよそをつかむことができる場合が多い。また、患者が医師に何を求めているのかもこのときに把握することができる。このような十分な面接がなされた後なら、医師の思考回路には、候補となる幾つかの病態があげられ、その順位もおおまかには想定できて、ここまでで診断へ向けての手順が整ってしまうことも少なくない。しかも、上記のような内容を聴取するというわずかなコミュニケーションではあるが、そこでの応答を通じて、患者や家族の性格なども大体の推定は可能であり、患者の声や話しぶりなどの観察も含めた総合的な情報収集の機会である。

骨粗鬆症においても、前述したような医療面接の重要性は変わらない。医療面接は、骨粗鬆症の検診、診療のいずれにおいても必須であり、骨粗鬆症の危険因子や骨粗鬆症に関連した骨折の症状の把握、骨粗鬆症と鑑別すべき疾患の情報を得るなどの目的がある。事前に行うことにより検診や診療の効率化を図ることができ、医

療面接で得られた情報は適切な予防法や治療法の選択にも有用である¹⁾。

2 医療面接の進め方

医療面接には、口頭で質問する方法と医療面接票などに自己記入してもらう方法がある。高齢者にとっては文字による質問に回答することはやや難しい点もあるが、時間が許される場合には可能なかぎり自分で回答してもらい、不十分な点を聴取により補うのが医療者、受診者ともに負担が少なく効率的である¹⁾。

3 骨粗鬆症の医療面接で聴取すべき内容

聴取すべき内容を表1に示した。主訴は、骨強度が低下しているだけで、合併症が何も生じていない場合は、原則、無症状である。検診で骨粗鬆症疑いとされて受診する場合などはそのような例が多い。主要合併症である骨粗鬆症性骨折が起こると、場所が腰椎なら腰痛、橈骨遠位端であれば手関節痛などの疼痛が生じて、それが主訴となる。明らかな骨折がないのに疼痛を訴える際は、骨粗鬆症による痛みと安易に診断することなく、慎重に疼痛源の検索を行う必要がある。現病歴では、骨粗鬆症に関して、そ

表 1 骨粗鬆症の医療面接で聴取すべき内容

| |
|--------------|
| 主訴 |
| 年齢, 性別, 閉経時期 |
| 現病歴 |
| 既往歴と治療中の疾患 |
| ADL |
| 喫煙歴, 飲酒歴 |
| 骨折歴 |
| 家族の骨折歴を含む家族歴 |
| 転倒歴 |
| 服薬状況 |
| 食事内容 |
| 嗜好品 |
| 運動歴 |
| 職業歴 |
| 栄養 |
| 居住環境 |
| 社会経済的状況 |

れまでの検診や診療を受けた経験や結果も忘れずに問診する。既往歴では、関節リウマチ、糖尿病、副甲状腺機能亢進症などの続発性骨粗鬆症の原因疾患なども聴取する。服薬に関しても、ステロイド剤など続発性骨粗鬆症に関連する薬剤の使用状況も聴取する。

喫煙歴や飲酒歴はステロイド剤使用と並んで、FRAX[®]で用いられる危険因子である。

4 重要な骨折歴の聴取

骨折歴は、患者自身の骨折の既往だけでなく、両親の骨折歴もともに、新たな骨折を生じるリスクを強力に高めることはよく知られている。

患者の骨折歴は、臨床骨折に関して、‘これまでに骨折したことがありますか?’などと、その部位や時期を尋ねる。もちろん正確に骨折名を回答できる患者は少ないが、骨折は通常強い痛みを伴い、治療にも手間がかかり、個人には重い外傷という印象をもって記憶に残ることが多いので、認知症合併者でなければ、臨床骨折したことがあるかないかは、およそ確認できる。

一方、患者の自覚症状がない脊椎形態骨折では、医療面接から情報をほとんど得ることはで

きず、これに関しては、脊椎単純X線写真で診断しなければ、診断は困難であることには注意を要する。

家族の骨折歴、特に両親に骨折歴があると、骨粗鬆症性骨折リスクが上がるとされているが、なかでも、両親の大腿骨近位部骨折歴は患者の大腿骨近位部骨折リスクを2.27倍に上昇させる²とされている。そのため、FRAX[®]でも両親の大腿骨近位部骨折歴が危険因子として採用されている。ただ、高齢患者では、その両親の遠い過去のことになり、また、大腿骨近位部骨折という病名はほとんど知られていないので、‘転んで足の付け根を折って、入院などしたことがありますか?’などと尋ねても、どれくらい正確な回答が得られているかは不透明な部分もある。

5 身体診察の意義

骨粗鬆症患者の診察に際して身体所見を得る意義は、従来の見方では、骨密度測定などが必要となる骨折リスクの高い患者を選定することにあるが、それだけにとどまらず、骨折に深く関連する転倒リスクについても重要な診察所見が得られる貴重な機会であることを再認識すべきである。

骨粗鬆症診療の最大の目標は脆弱性骨折リスクを低減することである。骨折発生は骨折指数(外力/骨強度)で規定され、それが1を越えると骨折する。したがって、骨折リスク評価には骨強度だけでなく外力からのリスク評価が必要である。高齢者では、骨折外力はほとんどが転倒外力なので、転倒リスクを評価することで代用することが実用的で、運動器不安定症診断基準で臨床的推定が可能である(図1)。

6 身体診察の進め方

①身長、体重の測定→②視診→③触診→④補助身体所見と進める。診察室前に身長体重計を常置して入室前にルチーンに計っておくと大変有用で、また、視診から触診、身体所見の診

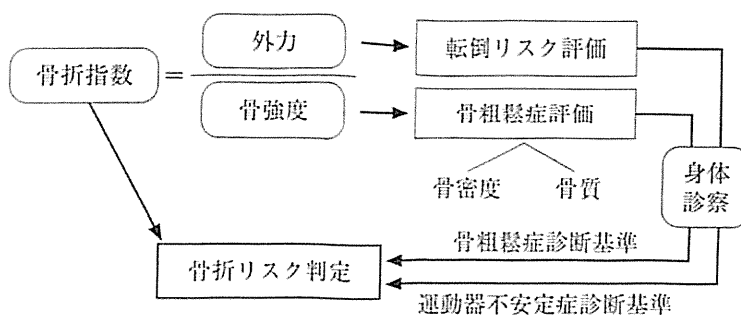


図1 骨粗鬆症診察における身体診察の意義

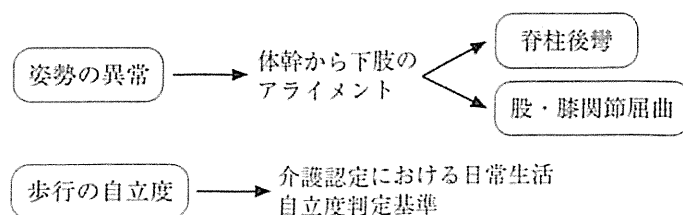


図2 視診

察は、疼痛や病歴など問診から得られる情報と照合しながら進めること肝要である。

7 身体所見のとり方

1) 視診

診察室に入ってくる姿勢、動作について、姿勢異常、歩行自立度、歩容異常などを観察する。

姿勢は、前屈姿勢がある場合は脊柱後彎、円背が示唆され、その際には股関節、膝関節の屈曲位も確かめ、立位アライメントを評価する。

脊柱後彎が軽度であれば、立位バランスへの影響は通常少ないが、体型の衰えなどで生活の質は低下傾向になる。脊柱後彎が高度になると、立位バランスが崩れて立ち上がりや移動動作が不安定となり、バランスのために股関節・膝関節が屈曲位になり、大腿四頭筋や腸腰筋などの負担は増して易疲労性や転倒リスクは高まる。これが更なる閉じこもりや運動量低下を招いて廃用性萎縮の悪循環に陥ってしまう。

歩行の自立度は、交通機関を利用して1人で外出が可能なレベルから介助により車いすに移乗のレベルまでのどの段階にあるのかを観察で予想できる。その際に、小刻み、すり足歩行や歩幅拡大、左右への動揺性など、歩容の注意深

い観察によってパーキンソン病などの他疾患のおよその鑑別もできる(図2)。

2) 触診

脊椎棘突起の触診が重要である。脊柱後彎や側彎、すべりなどの脊椎アライメント異常を検出したり、脊椎骨折では、椎体楔状化による局所後彎による棘突起突出を触知できることもある。同時に棘突起に圧痛や叩打痛をみることで、骨折など病的変化の存在を推定できる。

脊椎棘突起の圧痛や叩打痛は重要な情報で、寝返り、起き上がり、立ち上がりなどでの疼痛増強や、周辺の脊椎棘突起の圧痛や叩打痛、傍脊椎筋圧痛などを十分に確かめる。起き上がりなどで疼痛が増悪し、叩打痛があれば、急性脊椎骨折を疑い、腫瘍性疾患や感染症などとの鑑別を兼ねて、画像検査へ進む(図3)。

3) 身体測定

WHO(世界保健機関)から提唱されたFRAX[®] WHO骨折リスク評価ツールによる10年骨折確率の計算には、身長(cm)と体重(kg)は必須項目で、その計測は行うべき身体所見の筆頭にあげられる。

身長：骨粗鬆症による骨格変化で最も重要なものは身長短縮である。多くは脊椎骨折による短縮とされ、脊椎骨折の存在が疑われる。身長

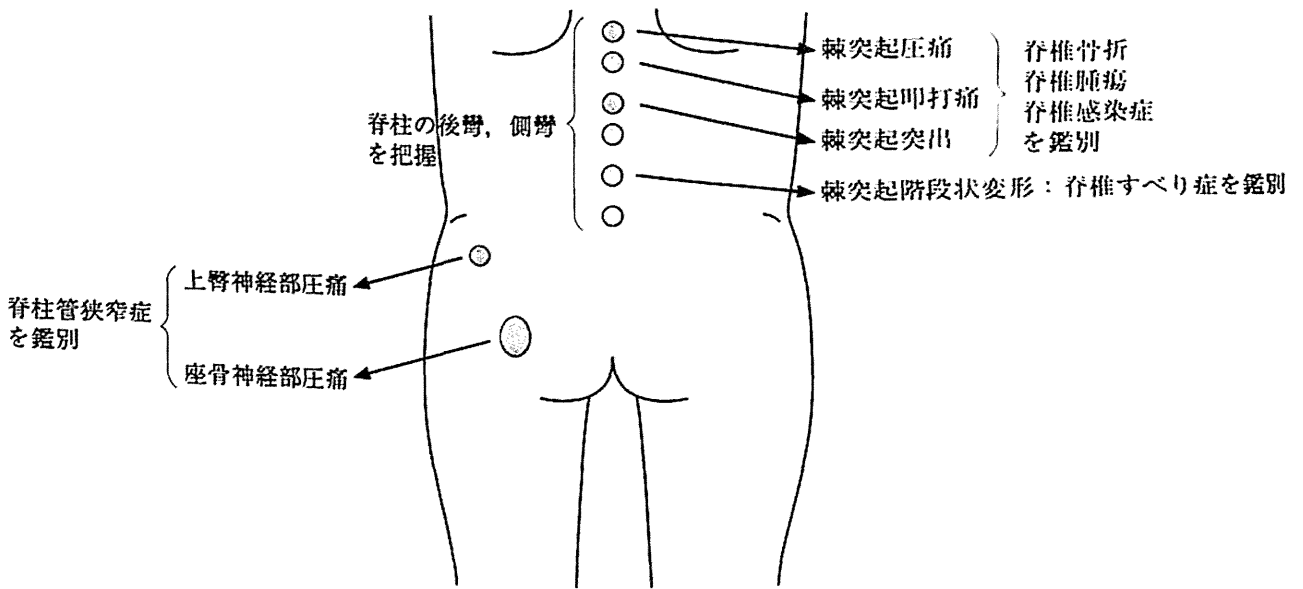


図3 触診

が25歳のときより4cm以上低くなっていると、骨粗鬆症罹患の可能性は高く、一般人より2.8倍も脊椎骨折を生じやすいとされている。

体重：体重と骨密度は関連する。体重のみで骨密度を予測はできないが、年齢を組み合わせた骨粗鬆症自己評価指数(FOSTA)を利用すると、低骨密度との関連性を高めることができる。

体格指数(BMI)：BMIも骨折危険因子で、20 kg/m²未満だと大腿骨近位部骨折のリスクが上昇する。FRAX[®]では、BMIあるいは大腿骨頸部骨密度のTスコアを基に骨折発生リスクを算定でき、BMDを使う方がよりリスク評価が可能であるが、BMDなしでBMIだけでも骨折リスクを求めることができる。

簡易な脊柱後彎度の診断法としては、次の2つがある(図4)。

肋骨-骨盤間距離：患者を立位にして後方から肋骨弓下端と腸骨上縁との間に指を入れ何横指入るかを調べる。2横指以下なら腰椎椎体骨折が存在する可能性が高い。

壁-後頭骨間距離：患者を壁に踵・臀部・背部を着けた状態で立たせて、壁と後頭骨との距離を計る。壁に後頭部がつけられない場合は椎体骨折の可能性が高いとされるが、有用性がないとの意見もある。

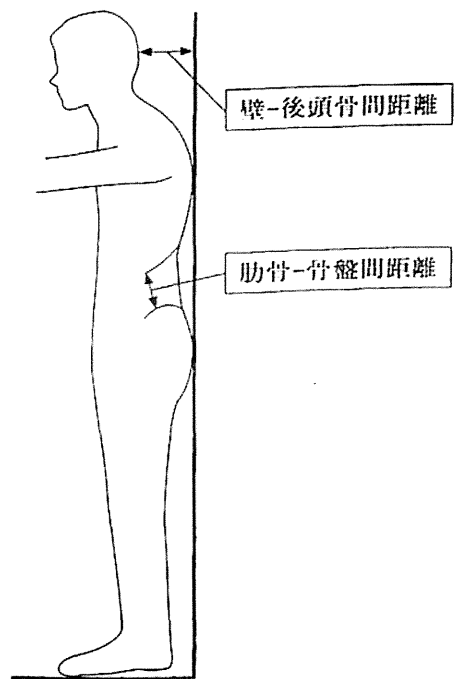
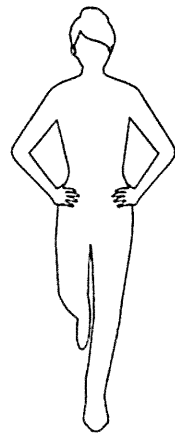


図4 簡易な脊柱後彎度、円背の診断法

8 運動機能評価

骨粗鬆症診察時に、転倒リスクに関連する運動機能評価も行うことが望ましい。外来で用いることが容易なのは、運動器不安定症の所見であろう。

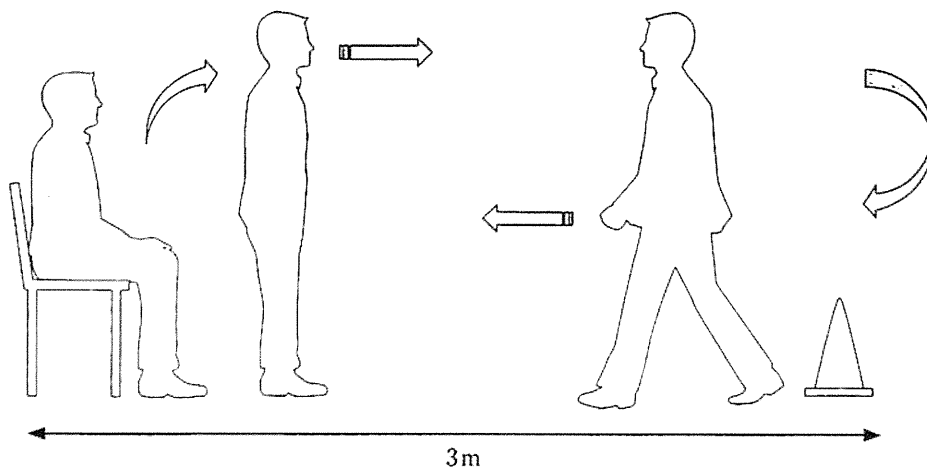
運動器不安定症は、運動機能低下をきたす疾



*開眼のため、試験の影響因子として運動機能だけでなく高次機能、感覚機能も関与する。

図5 開眼片脚起立時間

両手を腰に当てて、片脚を床から上げ、立位を続けられる時間を測定する。練習させてから行い、60秒までの測定でよい。この計測で転倒事故が起こらないように、つかまることができるところで実施する。



*いずれもストップウォッチで測定。

図6 3m timed up and go test

椅子に座った姿勢から立ち上がり、3m先の目印を折り返し、再び椅子に座るまでの時間を測定する。危なくない範囲で速く歩くように指示するが、転倒事故が起こらないような配慮が必要。

患の既往があるか、または罹患している者で、日常生活自立度がランクJまたはAであるか、または運動機能のうち、開眼片脚起立時間が15秒未満か、3m timed up and go test(3TUG)が11秒以上である者とされている。

開眼片脚起立時間：腰に両手を当て、片脚を床から5cm上げた状態で、立位を続けることができる時間を測る。1-2回練習させてから左

右それぞれ2回する測定を行い、最もよい記録を選ぶ。60秒まで測定すればよい。実施中の転倒を防ぐために必ずつかまれる物の近くで実施する(図5)。

3TUG: 椅子に座った姿勢から立って、3m先で折り返してもう一度椅子に座るまでの時間を計る(図6)。



9 身体的診察のポイント

身長、体重は重要な情報で、特に FRAX[®] を使用する場合は必ず測定する。忘れてはならない

のが転倒リスク評価で、運動器不安定症診断基準に沿って行えばその意義は大きい。このように骨折リスクの判定に身体的診察は大きな役割を果たす。

文献

- 1) 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン作成委員会(編): 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン 2011年版, p16-17, ライフサイエンス出版, 2011.
- 2) Kanis JA: A family history of fracture and fracture risk: a meta-analysis. Bone 35: 1029-1037, 2004.

11 関節疾患，ロコモティブシンドローム

講義の到達目標

関節疾患

【疫学・成因・病態】

- 要介護者・要支援者に占める関節疾患のおおよその割合や、高齢者における変形性膝関節症の頻度を説明できる。
- 変形性関節症の発症、増悪因子を列挙できる。

【診断】

- 理学所見や血液検査、関節液の特徴を説明できる。
- X線所見の特徴を列挙できる。
- 鑑別すべき疾患を列挙できる。

【治療】

- 症状改善のための生活上の注意点を列挙できる。

- 保存療法(運動、薬物、装具)を説明できる。
- 手術療法(人工関節置換術)のリスクについて説明できる。

ロコモティブシンドローム

- 介護予防のために提唱された概念について説明できる。
- チェック項目の存在と概要を説明できる。
- 対象となる主な3つの疾患を列挙できる。
- 高齢者の骨折の好発部位を列挙できる。
- 推奨されている2つのトレーニングとその注意点をあげることができる。

関節疾患

疫学・成因・病態

要介護者・要支援者に占める関節疾患の割合：高齢者の身体活動の制限をきたす主要因として「関節の痛み」がある。歩行、立ち座り、階段昇降などの基本的な日常生活動作(ADL)で起きる関節の痛みの多くは、変形性関節症(osteoarthritis: OA)によって生じている。関節症の増悪が原因で、高齢者が要支援者に、またさらに要介護者となる場合も少なくない。その割合は、要介護者・要支援者全体で関節疾患は10.9%であり、転倒骨折とあわせると全体の20%を占め、運動器の障害は第1位の脳卒中に匹敵する。近年特に数が増加している要支援者においては、関節疾患が最も多い原因となっている(図1)¹⁾。また、こうした介護保険対象者となる以前から、関節疾患は高齢者のQOL(生活の質)低下の原因となっており、老年医学を学ぶ際には、基礎的な知識を持つておく必要がある。

高齢者の関節疾患(変形性関節症)の部位、頻度、重篤さ：最も頻度が多いのは膝関節(O脚変形を

きたしている高齢者はほとんどが該当)であり、X線診断での患者数は、日本で約2,500万人との推定報告がある²⁾。次に多いのは股関節であるが、痛みなどの症状の重篤度や日常生活への障害の程度でいえば股関節のほうが影響が大きい。足、肩、肘、指、手など、そのほか体中のほとんどの関節にもみられるが、頻度や障害の程度からみた重要性は、膝関節や股関節ほどではない。

高齢者の関節疾患(変形性関節症)の成因と病態、

症状：関節内の軟骨(骨の表面にある硝子軟骨)や、骨と骨の適合性や関節の安定性を高める半月板(膝関節)や関節唇(股関節)のようなやわらかい軟骨(線維軟骨)組織が変性、やがて磨耗や断裂が進み、それに伴い骨への負荷が増加することで、軟骨下骨が硬化し、骨棘形成や、周囲の骨内に嚢胞を形成するなどの関節の変形を生ずる。変形は数年から十数年という比較的長い期間に徐々に進行増悪し、骨の破壊や関節炎の増悪をきたし、特に荷重を伴う動作時の痛みが増悪する。進行期には、非荷重時にも痛みを生ずる場合もあるが、痛みが持続することはまれで、安静により軽快する。関節の変形により、関節の可動域が減少する。若年者と比較すると、高齢者では進行期の症例が

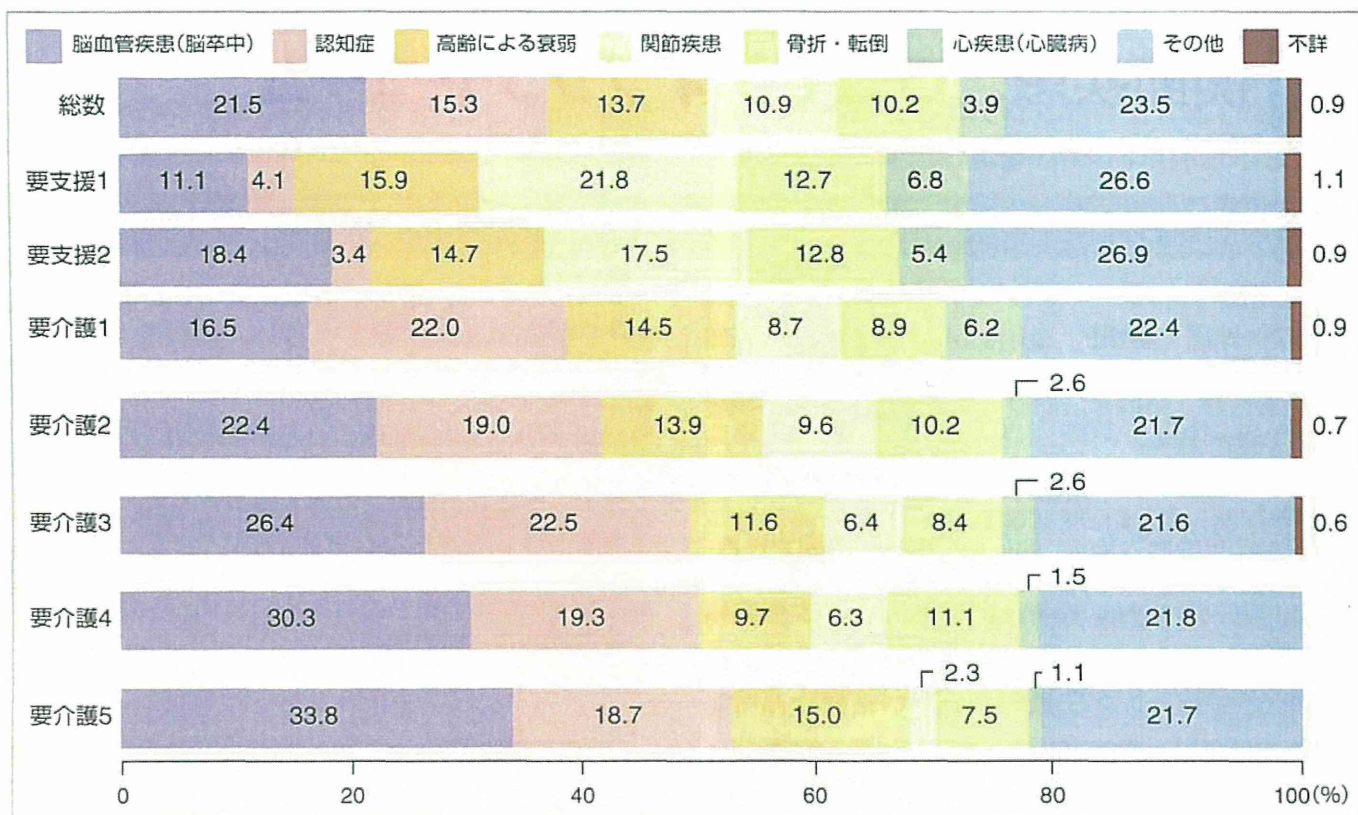


図1 要介護度別にみた介護が必要となった主な原因の構成割合

多く、骨の脆弱性を伴って急速に変形が進む例もある。

高齢者の関節疾患(変形性関節症)の発症・増悪因子：加齢に伴い増加し、女性に多く、増悪因子として肥満、大腿四頭筋筋力の低下、職業が関係する^{3),4)}。超高齢者においては、骨の脆弱性により、急速に変形が進行する場合がある。若年者における変形性関節症は、ほとんどが外傷後かスポーツ障害が原因である。

診断

変形性関節症の診断の多くは、痛みを主とした症状、関節の腫脹や可動域の制限、圧痛の存在などの理学所見、およびX線所見をあわせてなされる。血液検査では特徴的なものはなく、C反応性蛋白(CRP)が陰性、さらに水腫がある場合には関節液が黄色透明である(関節リウマチを含めた他の炎症性関節疾患の除外診断に用いられる)。

特徴的なX線の見方は、関節裂隙狭小化(特に立位正面像)、骨棘の形成、軟骨下骨の硬化像(図

2)、進行期には、骨内嚢胞像や骨の陥凹像などもみられる。初期の病態は、軟骨の変性であるがX線では判定できない。また、X線の変形の程度と関節痛の有無や程度とは、必ずしも関連しない場合も多い。

より詳細な病態の診断には、MRI撮影が行われる。MRIは軟骨の磨耗状態、骨棘の形状、靭帯、半月板や関節唇、腱の変性、骨内の浮腫像の有無など多くの情報を得ることができるが、専門性の高い検査のため一般的には用いられない。高齢者の変形性関節症のなかには、骨の脆弱性を伴うことで、関節の破壊が急速に進行するものがあり、なかには数カ月以前のX線像では異常所見が乏しいものもあり注意を要する。X線像に異常のない時期においても、MRIの脂肪抑制像で骨内浮腫像として高感度に検出される。

骨内の脆弱性骨折が原因と考えられている。若年者の変形性関節症はスポーツを含めた外傷による骨折、靭帯・半月板損傷後、感染の既往、骨軟骨に異常をきたす先天的疾患などに起因するの

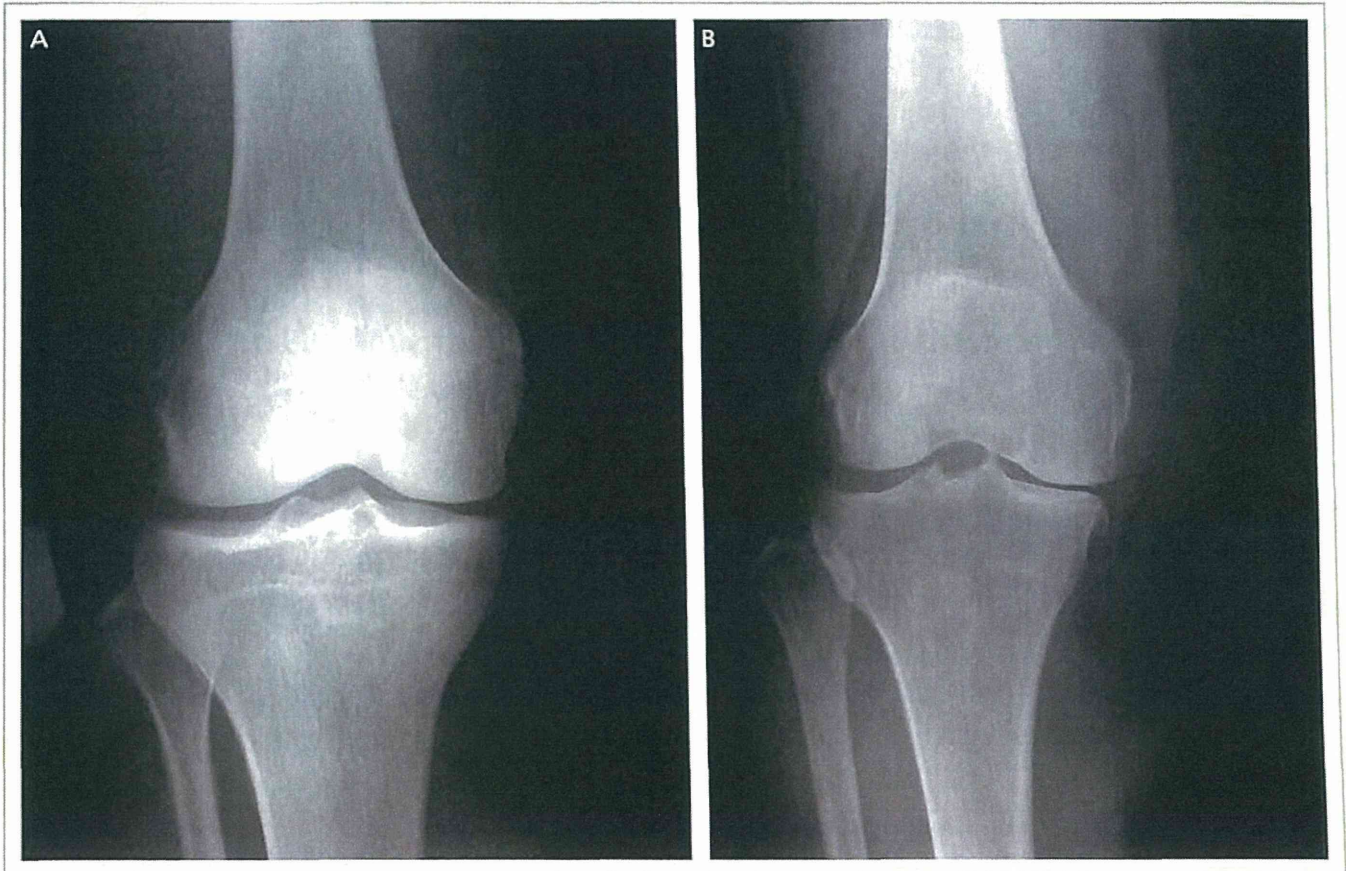


図2 変形性関節症のX線像
A: 正常例。B: 変形性膝関節症例

比較し、高齢者では特に原因のない場合がほとんどである。

変形性関節症以外の高齢者に多い関節疾患：

- **関節リウマチ** CRP陽性で、血清MMP-3(マトリックスメタロプロテアーゼ3)や抗CCP(環状シトルリン化ペプチド)抗体が高値。多発性関節炎で、多くは左右対称性に発症する。
- **偽痛風** CRP陽性。X線にて関節内に石灰化の所見がある。急な発症。非荷重関節にも頻発し、局所の痛みや腫脹・発赤があり、全身的な発熱を伴う場合もある。リン酸カルシウムの結晶により誘発される関節炎である。尿酸結晶により誘発される痛風発作も、高齢者で発症するが若年者ほど男性に好発しない。

治療

痛みを主とする症状の軽減を目的に、生活指導、運動療法(大腿四頭筋の筋力訓練など)、薬物

療法、装具療法などの保存療法が第一選択である。保存療法で改善を認めない場合、変形の程度に応じた手術療法が考慮される。

保存療法：

- **生活指導、運動療法** 過度の負荷が関節にかからないよう、和式の生活、長時間の立ち仕事や歩行を避け、肥満者であれば、体重を減らす努力をまず行う。また、大腿四頭筋をはじめとする関節周囲の筋力訓練が重要であるが、訓練時に痛みを生じにくい(すなわち体重の負荷が少ない)状態での運動(水中歩行、自転車、座位や臥位でのSLR(下肢伸展挙上)訓練(膝伸展位での保持))を指導する。
- **薬物療法** 非ステロイド性抗炎症薬(NSAIDs)(外用薬、内服薬、坐薬)の処方が主である。内服薬では、胃腸障害の軽減のためCOX-2(シクロオキシゲナーゼ2)阻害薬の使用が増えてきている。注射剤としては、膝関節症に対する主

にヒアルロン酸ナトリウムの関節腔内への注射が有効である。症状が強い場合は、ステロイドの注射が行われることもあるが、合併症もあり頻度をかぎって慎重に使用する。

- **装具療法** 関節動揺性を抑えるための膝サポーターや、内側荷重を減ずるための足底板が処方される。

手術療法：50～60歳代前半の比較的若年の患者には、膝内反変形を矯正し、内側への荷重を減じ、外側へ荷重を移すための高位脛骨骨切り術や、股関節で臼蓋形成不全を矯正するための臼蓋回転骨切り術が適応されることもあるが、高齢者に対しては人工関節置換術が適応される場合がほとんどである。歩行時痛の著しい改善効果があり、QOLが大きく改善される一方、頻度は低いが手術後の合併症として、深部静脈血栓症に続発する肺塞栓、人工関節の感染や、股関節では脱臼を起こすこともある。また膝関節では、関節可動域の改善が困難なこともあり、インフォームドコンセントのうえで施行する。人工関節の耐用年数は一般的には15年程度とされ、若年者の手術においては活動性も高いため、将来の再置換術を避けるために人工関節の適応はかぎられる。それに対し高齢者では、日常の活動性も低く、人工関節の経年的劣化が手術適応において問題となることは少ない。

ロコモティブシンドローム

ロコモティブシンドローム(ロコモ)は、日本整形外科学会が2007年に提唱した新しい概念で、運動器の障害により、要介護となっている、または要介護になるリスクの高い状態をさす⁵⁾。

社会の高齢化に伴い、要介護者が増加する現状を鑑み、運動器の障害を予防ないし早期発見・早期治療を国民に呼びかけることを目的としている。生活習慣病予防のために国民に広く知られた「メタボ」と同様に、要介護予防のために広く認知されることを目指し、覚えやすい呼称として「ロコモ」と略して用いることが多い。概念提唱の背景には、前述したように、要支援、要介護などの原因に占める運動器疾患の頻度が高いことがある

(図1)。

原因

運動器の障害の原因には、大きく分けて、運動器の疾患と、加齢による運動器機能不全がある。**運動器の疾患(筋骨格運動器系)**：加齢に伴うさまざまな運動器疾患のなかでも、特に変形性関節症、骨粗鬆症(に伴う脊椎の円背や易骨折性、あるいは転倒に伴う脆弱性骨折)、変形性脊椎症(なかでも神経の圧迫を伴う脊柱管狭窄症)が代表的なものである。これらの疾患により、痛み、関節可動域制限、筋力低下、麻痺、骨折、瘻性などをきたし、バランス能力、体力、移動能力の低下をきたす。患者数は、変形性関節症と骨粗鬆症にかぎっても4,700万人(男性2,100万人、女性2,600万人)と推計されている。骨粗鬆症性骨折の好発部位は、脊椎(主に胸腰椎移行部)、大腿骨近位部、橈骨遠位端、上腕骨近位部の4カ所である。脊椎以外はほとんどが転倒に続発して生ずる。大腿骨近位部の骨折は、「寝たきり」の主な原因の一つで、歩行能力を維持するためには、ほとんどの症例で手術療法が必要となる。手術は、骨折型の違いで骨接合術か人工骨頭置換術が選択されるが、全身状態などが許せば可及的早期の手術が望ましい。脊柱管狭窄症は、腰殿部から下肢にかけての痛みが主症状で間欠性跛行を伴うことが多い。NSAIDsやPGE₁(プロスタグランジンE₁)製剤投与で保存治療されるが、効果が十分得られない例では、手術療法(除圧術や除圧固定術)を選択する。**加齢による運動器機能不全**：加齢による身体機能の衰えであり、筋力低下、持久力低下、反応時間延長、運動速度の低下、巧緻性低下、深部感覚低下、バランス能力低下などをきたす。「閉じこもり」などで運動不足になると、さらに筋力やバランス能力などの運動機能の低下が起こり、容易に転倒しやすくなる。

7つのロコモチェック(2009年改訂)

運動器の疾患、あるいは運動機能不全を自身で気づくためのツールとして以下の7つが提唱され

ている。

- ① 片足立ちで靴下がはけない。
- ② 家のなかでつまずいたり滑ったりする。
- ③ 階段をのぼるのに手すりが必要である。
- ④ 横断歩道を青信号で渡りきれない。
- ⑤ 15分くらい続けて歩けない。
- ⑥ 2 kg 程度の買い物をして持ち帰るのが困難である。
- ⑦ 家のなかのやや重い仕事(掃除機の使用、布団の上げ下ろしなど)が困難である。

上記7項目のうち一つでもあてはまればロコモが疑われる。広報用として先行し、実際の運動機能やバランス機能との関連などの有用性の検証が行われつつある。

ロコトレ

ロコモティブシンドロームは、提唱された時点から、運動機能不全状態に早期から気づいて予防、あるいは改善し、また転倒や骨折を予防することを目的とした概念であるため、自宅で、安全に、継続して行うことができる運動療法(ロコトレ<ロコモーショントレーニング>)をあわせて紹介している。

- ロコトレその1：開眼片足立ち訓練。
- ロコトレその2：ハーフスクワット。

さらに、その他のロコトレとして、ストレッチ、関節の曲げ伸ばし、ラジオ体操、ウォーキングなど、いろいろな運動を積極的に行うことが奨励さ

れている。

これらトレーニングを行う際は、転倒などに十分注意をし、痛みなどの症状が悪化した場合は、専門医への受診や紹介を適宜行う必要がある。

ロコモの普及に向けて

ロコモが、メタボや認知症と並び、健康寿命の短縮、寝たきりや要介護状態の3大要因の一つであることを国民に注意喚起し、健康寿命の延伸、生活機能低下の防止のため、運動器の障害に対するの予防、早期発見・早期治療の重要性を説く必要がある。老年医学を学ぶ方々がその重要性を認識し、率先して国民への普及に努めていただきたい。

【松井 康素・原田 敦】

参考文献

- 1) 厚生労働省大臣官房統計情報部：平成24年グラフでみる世帯の状況—国民生活基礎調査(平成22年)の結果から—、厚生労働省大臣官房統計情報部、2010
- 2) Yoshimura N et al : Prevalence of knee osteoarthritis, lumbar spondylosis, and osteoporosis in Japanese men and women: the research on osteoarthritis/osteoporosis against disability study. J Bone Miner Metab 27:620-628, 2009
- 3) 古賀良生ほか：変形性膝関節症の悪化因子の疫学的検討。関節外科—基礎と臨床 24:51-55, 2005
- 4) Muraki S et al : Association of occupational activity with radiographic knee osteoarthritis and lumbar spondylosis in elderly patients of population-based cohorts: a large-scale population-based study. Arthritis Rheum 61:779-786, 2009
- 5) 日本整形外科学会編：ロコモティブシンドローム診療ガイド、文光堂、2010

Clinical Topics

片足立ち訓練やスクワット訓練による筋力強化が有効 サルコペニアの実態

後期高齢者において、進行性かつ全身性の筋力低下による歩行能力の低下といった生活機能の減弱に代表される老年症候群として注目されるサルコペニア(SP)。国立長寿医療研究センター病院(愛知県)の原田教副院長、東京大学病院22世紀医療センター臨床運動器医学講座の村木重之氏に、日本の研究成果から得られたSPの有病率や骨粗鬆症との合併率、日常生活動作(ADL)低下リスクや要介護との関連、治療薬や予防介入プログラムに関する知見について聞いた。

発症機序解明の鍵は骨格筋幹細胞

原田副院長によると、79歳の変形性膝関節症かつ人工関節装着患者で膝伸屈筋力低下した大腿四頭筋(内側広筋)細胞の病理学的検討では筋減少としての脂肪変性が認められ、後期高齢者由来不死化ヒト筋細胞株の検討では若年者由来に比べて増殖分化能低下が確認されたことから、骨格筋に特異的な筋幹細胞がSPに関与することが示唆された。

老化マウスモデルを用い、加齢に伴う神経筋シナプス退縮の状態で老化、廃用性筋萎縮、神経を切断した各過程の検討では、筋から運動神経終末に分泌する機能性蛋白質の発現増強が認められたバイオマーカー22候補を同定、モノクローナル抗体をヒト血中で検出できたという。

現在、リハビリテーション中の高齢者を対象とした筋量や筋力、栄養指標、大腿骨頭部骨密度や骨格筋指数との関連、また健康若年者から高齢者を対象とした運動負荷前後の運動機能とバイオマーカーとの関連などに関する臨床研究を行っており、大腿筋量や歩行距離などとの相関性が認められている。

疫学研究では、簡易基準として①普通歩行速度1m/秒未満または握力が男性25kg未満、女性20kg未満②脆弱高齢者③二重エネルギーX線吸収測定(DXA)法で骨格筋低下の指標となる若年成人平均値(YAM)-2SD未満-を設け、65歳以上の1,413例(男性694例、女性719例)を対象に検討した結果、SP有病率は男

性4.6%、女性11.8%で、6年後までの追跡調査ではADLの低下リスクは非SPに比べてオッズ比1.54(年齢調整済み)であった。

また、高齢者にも実施可能な近赤外分光法(NIRS)を用いた筋量推算式を考案(図)。NIRS測定値に身長、体重、性を加えた重回帰分析で、DXA測定による筋量の92%を説明でき、高齢者4,806人を対象に推定式から算出されたSP有病率は7.2%であった。

骨粗鬆症性骨折との関連やBP製剤による有効性を指摘

国内の研究からは、メタボリックシンドロームの危険因子数との正の相関、レプナンと四肢骨格筋量との有意な負の相関、アンドロゲンや骨格筋由来血管内皮細胞増殖因子との関連などが指摘されている。

原田副院長らは骨粗鬆症に注目し、同副院長らの運動器疾患データベースから2,773例を対象にDXA法で大腿骨骨量と補正四肢筋量を測定してSPと骨粗鬆症(YAM)の70%未満)の有病率を算出した結果、SPは骨粗鬆症の45%に合併しており、同センターの大腿骨近位部骨折357例、椎体骨折265例、対照群2,246例の検討では大腿骨近位部骨折はSPの割合が47%で骨折リスク1.48倍、椎体骨折では同49%、1.85倍と、独立し

た危険因子であることが分かった。

データベースからビスホスホネート(BP)製剤アレンドロネート1年単独投与かつDXA評価が行われた199例、活性型ビタミンD₃製剤アルファカルシドール投与かつDXA評価が行われた156例、無治療233例と比較した結果、四肢と下肢の骨格筋量指標は無治療群で減少、活性型ビタミンD₃群では変化なし。それに対し、BP製剤群では無治療群に比べて四肢2.31%、下肢2.64%と有意な増加が認められた。

早期予防のための包括的介入に関しては、75歳以上のSP女性に運動、アミノ酸補充、健康教育をそれぞれ

3カ月実施したところ、運動とアミノ酸補充のいずれも実施した群では筋量および筋力が最も増加していた。また、運動とカテキン補充(メチル化カテキン540mg含有の緑茶ボトル)による3カ月介入が筋量増加と歩行機能改善に最も効果的で、健康教育に比べてオッズ比は3.61であったとの報告や、太極拳「気らく運動」介入が有効との報告がある。

同副院長は「さまざまな研究を通じて、日本のSPの現状と病態機序を明らかにし、予防・診断・治療マニュアルを作成していく予定である」としている。

筋力低下が高リスク因子

村木氏らは、運動器疾患・症状や運動機能、ADLやQOLとSPとの関連を明らかにするとともに、その予防のための介入プログラムの開発を目的に、地域代表性を有するコホート研究を行った。研究結果から、高齢者における筋量および筋力の年齢別の違い、筋力低下と筋量減少が必ずしも相関するわけではなく筋力増強がSP予防に重要なこと、安全かつ有効な予防介入として片足立ち訓練やスクワット訓練の重要性を明らかにした。

要介護・要支援者自体を減少させられるかが課題

地域代表性を有するコホート研究として東京都と和歌山県の高齢者1,774人(東京都は956人(平均年齢79.9歳)、和歌山県は818人(同63.1歳))を抽出して握力、下肢筋力、上下肢の筋量を測定したところ、上下肢の筋力低下は50歳ころから始まり、60歳から急激な落ち込みが見られたが、筋量減少は筋力低下ほど急激ではなく、緩やかであった。同氏は「筋量減少は年齢との相関性が小さく、また

筋量は相関性がなかったものの、筋力と痛みや身体機能の項目との負の相関、すなわち筋力低下がQOLに関与することが分かった。

下肢の伸筋筋力や筋量と運動器疾患・症状との関連を見ると、筋量減少と変形性膝関節症や膝痛の有無では差はなかったが、筋力に関しては男女とも変形性膝関節症を有する者では有意に低く、膝痛においても女性で有意に低かった。要介護ありでは、筋力低下と筋量減少のいずれも男女ともなしに比べて有意差が認められ、筋力低下と筋量減少は著しかった。さらに、筋力と運動機能との間で重回帰分析を行った結果、片足立ち時間や椅子立ち上がり時間との有意な関連が認められた。

SPでは筋力低下が運動機能、QOLや要介護度に大きく関与していることが認められ、筋力増強訓練で改善および予防が期待できることが考えられた。

そこで、村木氏は片足立ち訓練やスクワット訓練を取り入れた介入プログラムを開発。これは、片足立ちを左右1分間ずつ1日3回、スクワット1セット5~10回を1日3セット行う。高齢者151例(平均年齢76.6歳)を対象に介入研究を行い、介入前と2カ月後に片足立ち時間、10m歩行時間、膝伸筋筋力について比較した結果、いずれの項目も2カ月後に有意な改善が認められた。

同氏は「要介護・支援の要因として衰弱が挙げられる。今回の研究でSPと衰弱との関わりが大きいことが分かった。SPの予防介入プログラムによって、要介護・要支援者自体を減少させられるかどうかを今後の課題にしたい」としている。

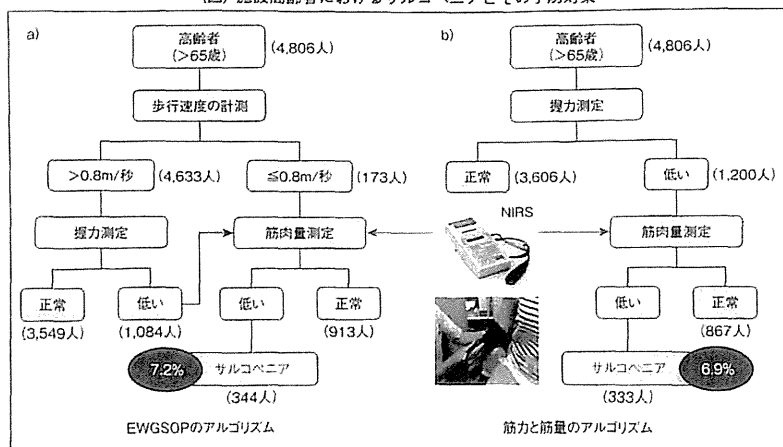


原田 敦氏



村木 重之氏

(図)施設高齢者におけるサルコペニアとその予防対策



(国立長寿医療研究センター・島田裕之氏提供)

80歳代の筋力は40歳未満に比べて半分程度度落ちていたが、筋量減少は30%程度にとどまっていたことから、筋力低下は単純に筋量減少だけで説明できないと指摘する。

下肢の伸筋筋力および筋量とQOL(評価尺度はWestern Ontario and McMaster Universities)の痛みや身体機能の項目との関連について重回帰分析(年齢、BMI、性を補正)を行ったところ、

大腿骨近位部の骨構造と骨強度 — 加齢変化と治療による変化 —

原田 敦* 若尾 典充** 根本 哲也#

骨強度を科学的に知るには骨片で材料強度を知る必要があり、骨の特定部位の骨強度を知るには、屍体骨を用いた破壊試験が必要である。これらは臨床では使えないため、大腿骨近位部の解剖学的骨構造を考慮した骨強度推定のための工学モデルを CT などのデータが構築して、骨強度を推定する方法が開発され、先進医療の「定量的 CT を用いた有限要素法による骨強度予測評価」技術による骨強度評価にまで発展して、現在、先進医療の制限はあるが実際の患者に臨床応用することが可能になっている。我々の施設での結果からも、大腿骨近位部は日常生活の立位荷重には強いが、非常時の転倒荷重に対しては弱く、その 1/3 ほどの大きさでも骨折すると予測されるような構造を持っている。

Bone Structural Properties and Bone Strength.

Bone structure and strength in the proximal femur — Changes due to age and medical treatment.

Department of Advanced Medicine, National Center for Geriatrics and Gerontology, Japan.

Atsushi Harada

Spine Center, Aichi Medical University, Japan.

Norimitsu Wakao

Department of Gerontechnology, Research Institute, National Center for Geriatrics and Gerontology, Japan.

Tetsuya Nemoto

Understanding bone strength scientifically requires knowledge of the material strength of a bone fragment, and understanding the bone strength of a specific part of a bone requires a destruction test using a cadaver bone. Since these tests cannot be used clinically, bone strength evaluation with the advanced medical technology of “predictive estimation of bone strength based on a finite element method using quantitative CT” has

*国立長寿医療研究センター・先端診療部長/副院長 (はらた・あつし)

**愛知医科大学病院脊椎脊髄センター・講師 (わかお・のりみつ)

#国立長寿医療研究センター研究所長寿医療工学研究部診療関連機器開発研究室・室長 (ねもと・てつや)

been developed to estimate bone strength with consideration of anatomical bone structure of the proximal femur. Today this method has come to be clinically applicable with actual patients. Investigations in our hospital have also led to the finding that while the proximal femur is strong enough for a standing load in daily life, it does not readily withstand the load from falls in accidents, and has a structure such that fractures may be predicted to occur at about one-third that size.

はじめに

わが国では、高齢者の骨折の増加傾向はいまだに続き、要介護化の主要な原因の一つであり続けており、超高齢社会に与える負のインパクトが今後も増大することが懸念されている。とりわけ、大腿骨近位部骨折は、歩行移動能力の大きな低下をもたらし、手術やリハビリテーションなどの標準的治療を行っても、その回復が不十分な場合が少なくないなど、その頻度と重篤度から最も重大視される骨折である。本骨折は、治療終了後も要介護期間が長く、医療費と介護費の総計は脊椎骨折の4.5～5.7倍も多く費用がかかるとされており、経済的な負担も大きく¹⁾、医学的にも社会的にも、予防の必要性が最も高い骨折と考えられる。

しかしながら、その骨折リスクを減少させるために、まず最初に求められるのは、骨強度のできるだけ正確な科学的推定である。そのためには、実際の骨に対する実証破壊試験での実測データから工学モデル化による個別予測、そして実証試験によるモデルの精度確認を必須工程として経て、精度が良ければ、信頼性の高い骨強度のシミュレーションが可能になる。

本稿では、大腿骨近位部の主にマクロ骨構造と骨強度について記述する。

骨折の生体力学的発生メカニズム

骨のある部分に転倒などの荷重が加わった場合に、骨折が発生するか否かは、力学的には次の式

で決定されている²⁾。

$$Fr = \text{Max} [Fr_c, Fr_t, Fr_s]$$

S_c : 圧縮強度, S_t : 引張り強度, S_s : 剪断強度

σ_c : 圧縮主応力, σ_t : 引張り主応力, σ_s : 最大剪断応力

$$Fr_c = \sigma_c / S_c, Fr_t = \sigma_t / S_t, Fr_s = \sigma_s / S_s$$

つまり、その部分の骨の材料強度は、ヤング率 ($e = \text{応力} / \text{ひずみ}$) などの物性値等から圧縮強度、引張り強度、剪断強度が決まっている。

圧縮、引張り、剪断の各骨強度、すなわち、骨の材料としての強さを科学的に知るには、知りたい部位の骨小片で力学試験を行って、応力-ひずみ曲線を求め、降伏点、破断点などを決めることが必要である。そのような試験を実際に行った結果をみると、海綿骨と皮質骨では弾性係数が大きく異なり、同じ海綿骨でも、骨量に差があると弾性係数、降伏点も明らかに変化し、骨量が3分の1になると骨強度は5分の1に低下することが示されている³⁾。

これらのうち、圧縮強度は、物性値と骨密度 (bone mineral density: **BMD**) から、次のように規定できる: $S_c = 5.36 e^{2.017p}$ (p : 見掛の三次元BMD)。そして、その部分に加わる荷重が、圧縮主応力、引張り主応力、剪断主応力として働き、各種の骨強度をそれぞれの主応力で除したもののうちの最大値が1を超えれば、骨の破壊、すなわち、骨折が起こると予測できる¹⁾。骨強

BMD: bone mineral density (骨密度)