

January Special

骨と軟骨

骨・軟骨の正しい知識と骨折治療



骨と軟骨は、スポーツをするうえで非常に重要なものとして広く認識されている。しかし、骨・軟骨に関して正しい知識は意外に知られていない。今月の特集では、先ごろ「骨と軟骨」に関する本を出された鄭雄一先生に、発生・進化・代謝・再生などについて詳細なお話をうかがった。また、川西誠先生には、スポーツ整形外科医の立場から、骨折に関して、治療や治療期間中の注意などについて解説していただいた。改めて正しい知識およびその知識に基づく実践がいかに大事かがわかる内容である。

1 骨・軟骨を強くする 鄭 雄一 P.6
——発生、進化、代謝、再生などに関する正しい知識

2 骨折とその治療 川西 誠 P.17

骨・軟骨を強くする

——発生、進化、代謝、再生などに関する正しい知識

鄭 雄一

東京大学大学院工学系研究科教授（医学系研究科兼任）
東京大学医学部附属病院
ティッシュ・エンジニアリング部

2010年5月に『骨博士が教える「老いない体」のつくり方』（ワック株式会社）という本を刊行された鄭先生。鄭先生には以前、ある研究会でレクチャーしていただき、その内容にたいへん興味を抱いた。今回、上記の本の出版後でもあり、改めて、「骨・軟骨」についてお話をうかがった。広く豊富な知識をもって語られる、骨・軟骨についての実におもしろく役立つ内容である。

——先生が骨や軟骨に興味をもたれたのは？

鄭：私はもともと内科でホルモンを専門としていました。副甲状腺ホルモンが関係するカルシウム代謝などが研究テーマだったのですが、それがきっかけで骨に入ってきました。

——カルシウム代謝における骨の役割のようなこと？

鄭：そうですね。カルシウム代謝のなかで骨は非常にメジャーな役割をしていますから、そこから入っていった感じです。医学

2010年5月に刊行された鄭先生著の『骨博士が教える「老いない体」のつくり方』（ワック株式会社）。「老い」と「骨・軟骨」について、わかりやすく解説、健康常識の間違いにも触れ、骨・軟骨を強くする実践編を最終章でまとめている。



部を卒業して、医者になって研修医として内外の病院で2年間勤めて、その後、第4内科というところに入り、さらに2年間務めました。

——第4内科というのは？

鄭：内分泌の研究を盛んに行っていた科で、そのなかでもとくに骨代謝、つまりカルシウム代謝をやるところです。その後に大学院に入り直して、その途中でアメリカにポスドクとして修行に行きました。医者になって4年間、臨床はかなり一生懸命にやって、その後大学院に入ってから研究を始めたということになります。

——先生は発生生物学や進化生物学や再生医療など、いろいろな領域に展開されている。

鄭：アメリカで行った骨の研究というのは、軟骨や骨がどうやってできるかに関してでした。そうすると、発生が入ってきたり、発生は基本的に進化の繰り返しですの、それで進化のほうにも自然に入ってしまったという感じです。

——再生医療との関わりは？

鄭：発生、進化とみていき、骨のつくり方を研究すると、人工的に骨もできるのではないかという話になって、そこから再生医療に入っていきました。

——内科の先生で骨に興味をもつ人というのはあまりいないですね。

鄭：やはり骨の研究は整形外科で盛んですね。優秀な研究者も整形外科に多いですね。

「情報」への注意

——では、前出の本に書かれたこと、あるいは東大の公開講座で講演された「老いな



てい・ゆういち (Ung-il CHUNG) 先生
1964年生まれ。医学博士。東京大学医学部医学科卒業、東京大学大学院医学系研究科修了。東京大学医学部、アメリカ・マサチューセッツ総合病院、ハーバード大学医学部等を経て、現職。発生生物学、進化生物学、再生医学、バイオマテリアル工学を専門とし、骨軟骨の発生および進化、再生に関する分子細胞生物学的研究に取り組み、バイオマテリアルの材料工学的研究を融合させ、組織再生を実現する人工デバイス開発を行っている。

い体のつくり方——骨粗鬆症を防ぐ」の内容も含めて、お話をうかがいます。

鄭：まず、現代において、何を気をつけなければいけないかということですが、情報が多すぎることです。情報が多いというのは、一見いいことのような気もします。しかし、よく考えると、それがすべて正しい情報であればいいのですが、誤った情報も入っていて、そのなかから正しい情報を見つけなければいけないのです。情報の選択がきちんとできないと情報はたくさんあるのですが、結局なんの役にも立たない誤った情報「ガセの情報」ばかりをつかむということになります。ガセの情報をつかむとそちらに時間もお金もとられてしまっていて、果ては、間違った健康法を行うと健康まで

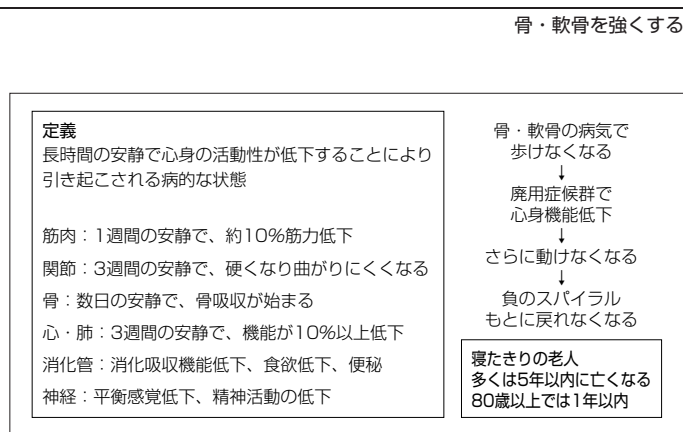
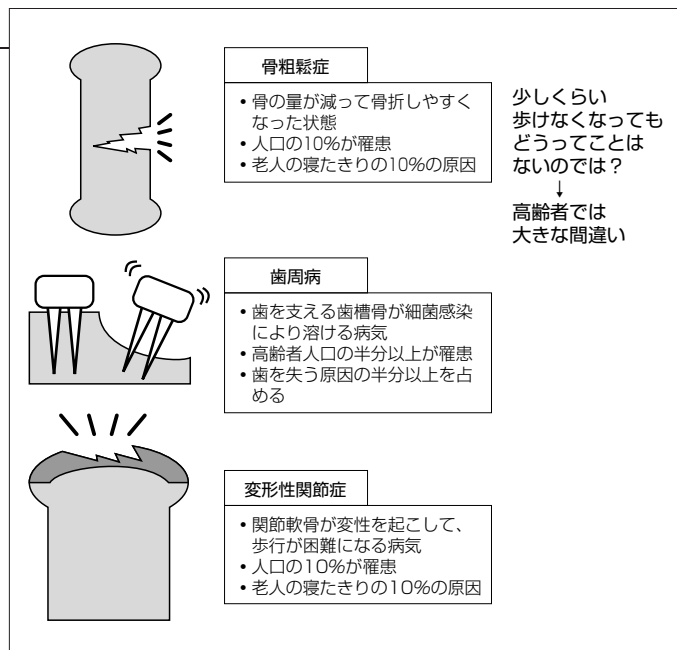


図2 寝たきりのおそろしさ（廃用症候群）
鄭雄一著、「老いない体」のつくり方、ワック株式会社、p.33、2010に加筆

図1 老化に伴う骨と軟骨の病気
鄭雄一著、「老いない体」のつくり方、ワック株式会社、p.31、2010に加筆

とられてしまって、人生が台無しになってしまいます。これが、私が一番今の世の中で危惧しているところです。このような情報の洪水のなかでちゃんと健康や老化に関する正しい情報を選択できることが大事だと思っています。そのためには対象に対して基礎的な知識があるということ、論理的に考えられるということ、この2つがないとダメかなと思います。

——それは、情報全般に言えることですな。

鄭：そうです。これはすべての事柄についてそうだと思います。次に統計の話になりますが、日本は高齢化先進国で長寿国（2006年の統計で女性1位、男性2位）で、100歳以上の人については最近問題もありましたが、2007年の統計では32,000人くらいで、この10年で4倍になっています。しかも65歳以上が人口の22%というすごい数になっています。65歳で“高齢”というものは当てはまらないと思います。そして高齢化とともに病気も増加してしまい80歳で平均8つもつと言われています。65歳すぎから健康で何も病気がない人というのは急激に減り、80代後半になると半数以上が要介護・要医療になります。ですから、単に年齢の数字を増やしてもダメで、活動的な健康寿命を延ばさないとイケない。そのときに、骨・軟骨は健康寿命にとってとても大事なものです。これ

が骨・軟骨の位置づけです。

ガンや脳卒中、心疾患などについては、「死ぬ」ということがクローズアップされて、注目されているのですが、実は骨・軟骨の疾患はクオリティ・オブ・ライフ（QOL）を下げるという意味では非常にインパクトの強い病気です。老化に伴う有名な病気としては、骨粗鬆症、歯周病、変形性関節症があります（図1）。とくに若い人には、骨がちっと減ったくらいということはないんじゃないか、骨折しても治るからいいじゃないかと言う人がいるのですが、高齢者に関しては、それはとんでもない間違いなのです。それは廃用症候群が起きてしまうからなのです。廃用症候群というのは長期間安静にしていると、すべての臓器で機能が落ちてしまうのです。筋肉、関節、骨、心・肺、消化管、神経など、だいたい1カ月くらい安静にしているとすべての機能が低下してしまいます（図2）。——筋肉は早い。

鄭：筋肉は非常に早い。骨も早い。代謝が早い臓器ほど安静による機能低下は早いようです。逆に関節は遅いです。もともと軟骨は代謝が遅いからです。若い人であれば機能のリザーブがあるので、機能が落ちてしまってもだましまし生活をしながら、もとに戻せるのですが、高齢者はリザーブが少ないので、廃用症候群になってしまうと、そこから歩けなくなってしまいます。歩け

なくなるとさらに心身機能が低下してさらに動けなくなってしまって、悪循環から抜け出せなくなり、そのまま寝たきりになってしまうのです。これは非常におそろしい状態です。アメリカの統計ですが、寝たきり老人の多くは5年以内に亡くなってしまいうというデータがあります。さらに80歳以上に関しては1年以内に亡くなってしまいうという統計が出ていて、寝たきりはガンに匹敵するような病気だと思います。だから、これを防ぐのが、健康や運動の意味ではないかと思います。

——とくに運動ですね。

鄭：運動はすごく大事だと思います。

ヒトに永遠の命は可能？

鄭：次に老化ということについて考えていきたいと思っています。みなさん永遠に生きたいと思うでしょうし、ES細胞の話やiPSの話が出るとみんながワッと飛びついてしまうのは、これで何か「永遠の命」ができるんじゃないかというように思ってしまうからです。しかし、それはあり得ないというのが次の話になります。

永遠の命をもつ生物はわれわれのまわりにもいます。たとえば細菌がそうです（図3）。細菌は対称性に2分裂しているので、A細胞が分裂してB細胞とC細胞になったとき、A、B、Cは等価です。すべてイコールの関係です。ということはC細胞から

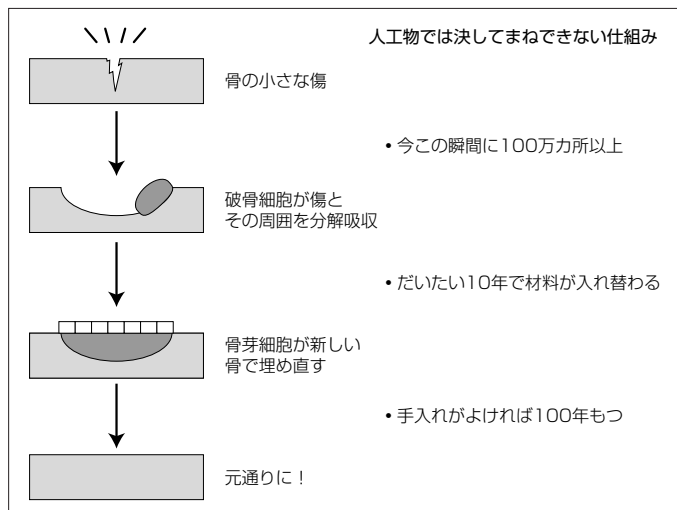


図7 骨のリモデリング

鄭雄一著、「老いない体」のつくり方、ワック株式会社、p.85、2010に加筆

しい材料だと思います。このように、リン酸カルシウムとコラーゲン、つまり無機質とタンパク質がメインの成分であるということが非常に大事なポイントです。

次に、骨の大きな特徴は絶対に人工物では真似ができない仕組みであるということです。それは骨のリモデリングです(図7)。骨に少しでも傷があるとそこに破骨細胞がやってきて、新しく造り直して、埋め直す。それだけではなく、たとえば頻繁に使っているようなところは骨を増す、使っていないようなところは骨を削る、そういう造り替えを常にしているのです。われわれ1人1人の体の中で、今この瞬間に100万カ所くらいリモデリングをやっています。骨はだいたい10年で材料はすべて入れ替わっています。だから10年前の私の骨と今の骨では形も何もすべて同じですが、リン酸カルシウムは全然違うものになっています。こんな材料は人工的には決してできない。常にメカニカルストレスがかかるような場所ですので、どんな材料で造ろうと、金属で造ろうといつかポッキリ折れてしまいます。骨は常にサーベイランスしてリモデリングを行って、それを防いでいるのです。

——宇宙飛行士でリモデリングを抑制する薬を使ったというの？

鄭：われわれの体は、使わない部分には資

図9 軟骨を構成する成分

鄭雄一著、「老いない体」のつくり方、ワック株式会社、p.102、2010に加筆

源をまわさないような仕組みになっています。宇宙で無重力状態になると重力がかかりませんので、体はもう骨はいらないと判断します。すると破骨細胞がたくさん出てきて、骨をどんどん削っていってしまい、骨粗鬆症になってしまいます。今、宇宙飛行士が飲んでいるのは、破骨細胞が骨を溶かせなくなるようにする薬です。

——副作用はない？

鄭：少し言われているものはありますけれども、今のところ大きな副作用はないとされています。骨を壊すということがなくなれば、リモデリングは止まってしまいますので、造り替えがなくなります。すると骨の成分がいつまでも同じままになるので、それによって、骨の構造材料としての強度に影響を与えるかもしれないということは言われています。

——それは骨粗鬆症の薬？

鄭：骨粗鬆症の薬そのものです。ビスフォスフォネートというものです。

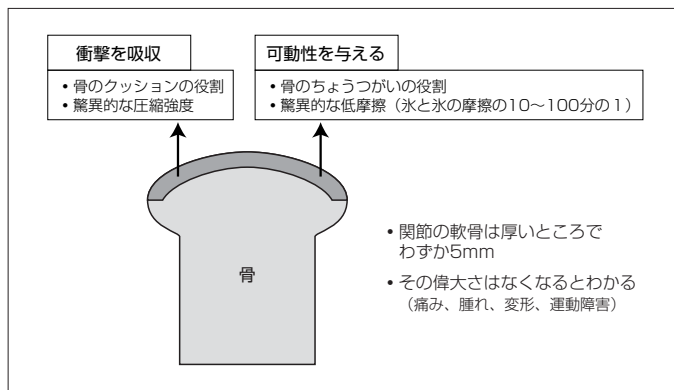
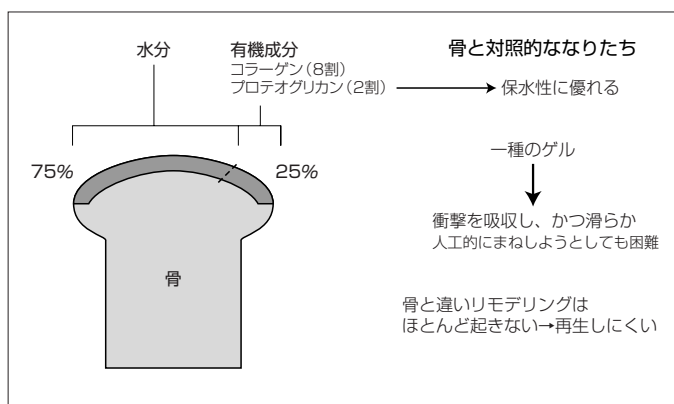


図8 軟骨の仕事と仕組み

鄭雄一著、「老いない体」のつくり方、ワック株式会社、p.99、2010に加筆



軟骨ではリモデリングが起きない

鄭：次に、軟骨の話をしていきます(図8)。軟骨はクッションで、かつ、ちょうつがいの役割をしています。もし骨同士がぶつかっていたら、ものすごい衝撃ですので、普通に歩いているだけでも衝撃は大きく、擦れてガリガリ骨が削れてしまいます。そこでクッションの働きをするのが軟骨です。次に、可動性を与える。非常に摩擦が少なく、氷が氷の上を滑るよりも摩擦係数が小さい。これは人工物ではなかなか真似できません。実は、なぜこんなに摩擦が低いのかまだよくわかっていないのです。関節というのはサイレントな臓器で、膝の一番厚いところの関節で軟骨はたった5mmです。それが骨の端についているだけですから、他の臓器と比べたら非常に量が少ない。しかし、軟骨がなくなるとはじめてその役割の大切さがわかる。そのときにはすでに遅いのですが、痛み、腫れ、変形、果ては運動障害まで生じ、そこまでいってしまうと、

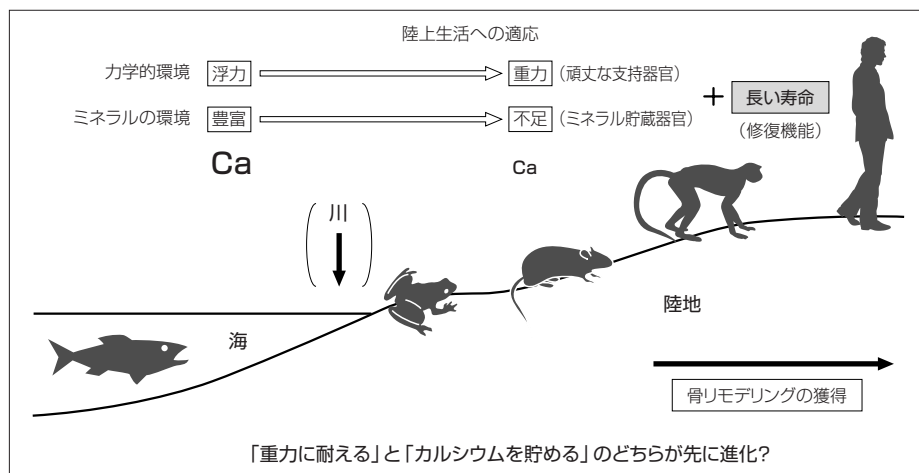


図10 骨の進化

中村利孝・吉川秀樹編、運動器の生物力学と生体力学、中山書店、p.44、図1、2008を一部改変

前述の廃用症候群につながっていきます。

——変形性膝関節症（膝OA）など。

鄭：そうですね、膝OAで歩けなくなると、それがきっかけで廃用症候群となり、悪循環で寝たきりになります。寝たきりで多くみられるパターンですね。軟骨は構成成分が非常におもしろくて、骨と対照的で水が75%、あとはタンパク質です。コラーゲン（8割）とプロテオグリカン（2割）でできています（図9）。プロテオグリカンというのは保水性に優れたタンパク質です。軟骨は一種のゲルなのですが、衝撃を吸収

して、かつ滑らかです。もう1つの大きな特徴は、骨にはリモデリングがありましたけれども、軟骨にはほとんどリモデリングが起きない。したがって、いったん壊れてしまうと、後戻り、つまり回復できません。——それは血管が栄養していないから？

鄭：血管も神経もないです。ある種の食べ物を食べたら軟骨がよくなるなどという話をよく聞きますが、骨は結構食べ物の影響を受けますが、軟骨はもともと代謝が低いので、食べ物で変わるということはほぼあり得ないです。

——サメの軟骨とか…。

鄭：はい。それについては、後述します。

骨の進化

鄭：次に骨の進化ですが、もともとわれわれは海にいて、陸に上がる前に川に入っていました。川にはほとんどカルシウムがないのです。そこで魚がカルシウムを貯めるものとして骨をつくったと言われています。ですから重力に耐えるよりもカルシウムを貯めるのが先です。カルシウムを貯めるためにつくった骨を使い回して両生類が陸に上がっていった、爬虫類、哺乳類になっていったのです（図10）。

この骨には2つのグループがあって、頭や顔の一部分の骨と鎖骨は、手足の骨や背骨とは全然由来が違います。前者は、皮膚や神経の仲間（外胚葉）、後者は筋肉や脂肪の仲間（中胚葉）です。ただし、完成したものはまったく同じです（図11）。

骨のでき方は、まず顔の部分ですが、もともと非常に古い時代に異甲類といういわゆる「甲冑魚」という魚類の祖先が現れました。背骨がゼリーみたいなものしかなくてグニャグニャなのですが、海鰐のようなプレデターから逃れるために、今の昆

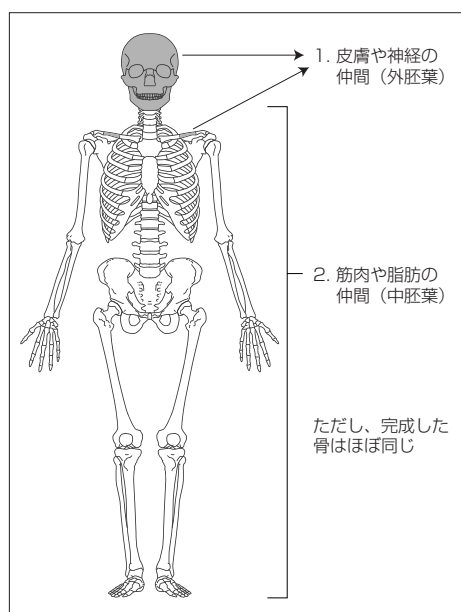


図11 骨には2つのグループがある

中村利孝・吉川秀樹編、運動器の生物力学と生体力学、中山書店、p.31、図2、2008を一部改変

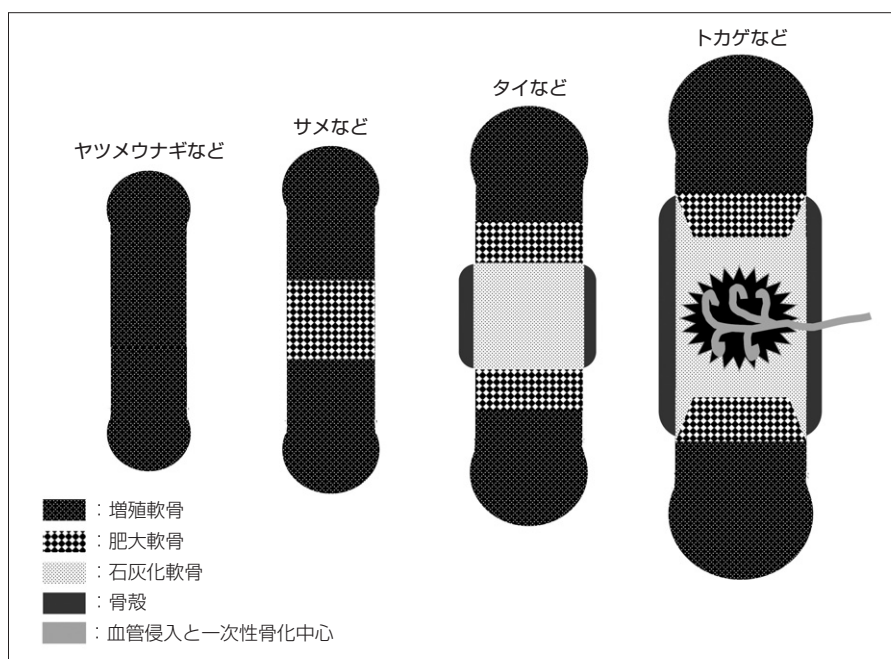


図12 手足の骨の発達

2

骨と軟骨

骨折とその治療

川西 誠

かわにし整形外科クリニック院長

特集1では、鄭先生に「骨・軟骨」に関して興味深い話をしていただいた。発生、進化、代謝など、知っておくべきことがたくさんあるが、ここではスポーツ現場で発生する骨折を中心に、スポーツ整形外科医である川西先生に解説していただく。

治療に難渋する骨折

——スポーツでの骨折では、一般的には修復して固定すれば治癒するというものになると思いますが、治癒しにくい、治療に難渋するのはどういうもの？

川西：まずは、手指などの小関節です（図1参照）。小さな関節で靱帯の断裂や脱臼を伴った骨折、つまり関節面を損傷するような骨折は、骨折の破片が小さすぎて、たとえば整復できないとか、手術してももとに戻らないだろうと考えられる場合に、関節可動域の悪化等の点で難渋します。大きな骨だと、たとえば脛骨の骨幹部の横骨折、



図1 20歳男性小指中節骨基部関節内骨折

骨を横に横断するような骨折が癒合しにくい。

——なぜ？

川西：その骨の血流や周りの筋肉といった問題もありますが、荷重関節ですから、横に折れてしまうと、垂直に軸圧をかけてもたわみ、骨折部が動きやすいからです。横ではなく斜めに折れた場合、骨折面は広くなり、骨折面が広いほど、からだのなかから出てくるいわゆる血液幹細胞、山中先生の研究でよく知られるようになった万能細胞のような細胞が血液のなかにもいて、その細胞や成長因子がうまく骨をつけてくれればいいのですが、横骨折は面積が小さいうえに、バランスが悪いので骨がつきにくいのです。

ある選手の例がそうで、ドクターが保存療法で治癒させようと努力されたのですが、その間、専属トレーナーにスクワットを指導されていた。ドクターたちは、なぜこんなに癒合が悪いのかと思っていたのです。仮骨ができて治癒しそうになるたびに、再度骨折してくるという状態でおかしい、おかしいと思っていたら、ある雑誌に「激痛に耐えて行ったトレーニング」ということで、スクワットしている選手が紹介されていたのです。選手自身がトレーナーにきちんと話していなかったのかもしれませんが、結果として不適切なトレーニングを行っていた。それで治りそうになってはまた折りを繰り返し、遷延治癒はしましたが、本来はもっと早く治っているものでした。

——その横骨折の場合は、早期は負荷をかけないようにする。

川西：先ほど述べたように、通常は血液幹細胞をもともと少ない数ではあるけれども



かわにし・まこと先生

開成高校を経て、1991年産業医科大学医学部卒業。2005年東京大学大学院医学系研究科外科学専攻博士課程修了。横浜労災病院、東京大学医学部附属病院、関東労災病院、東京労災病院を経て、1999年、東京大学医学部附属病院整形外科助手。2005年東京大学大学院医学系研究科附属疾患生命工学センター助手。2006年、関東中央病院整形外科医長。2008年7月に、かわにし整形外科クリニックを開設。医学博士。日本整形外科学会認定整形外科専門医。日本体育協会公認スポーツドクター。日本整形外科学会認定運動器リハビリテーション医。東京ヴェルディチームドクター、日テレ・ベレーザドクターとしてスポーツ現場でも活動。東京大学で関節軟骨の再生医療の研究によって医学博士を取得。

っているのです、本当は手術で切開しないほうがよい。手術で開けたとき、開けた以上は清潔に操作しなければいけないので、開けたときにそこを洗浄します。洗浄したときに、大事な因子や、血液幹細胞その他を洗い流してしまうことになります。その行為がまず骨折治癒を遷延させてしまう。脛骨など大きな骨の場合は髓内釘を入れて、骨が回転しないように横留めのスクリューを上下に入れるのですが、それによって傷が3カ所くらいできるうえに、内部を洗浄することで、大事な因子や細胞が洗い流されてしまうので、手術をすれば早く治癒するというのではない。手術をすると、髓



図2 19歳男性、骨膜炎（第5足中骨基部）の時期

けないと骨が反応すると、写真で白くみえるところが太くなってきます（図2の第5趾）。だいたいこのときに本人が痛みを訴え始めます。そのまま無理してやっていると、図3のような完全な疲労骨折になります。骨はふつう造っては壊すことを繰り返すことで何十年も折れずにもつ構造を維持していますが、疲労骨折の場合は、壊して新しく造るサイクルがうまく働かなくなった状態になり、脆い骨になり、たわみ続けて折れるということです。したがって、骨膜反応をみつけたときに、予防的に超音波をかけるとか、アイシングして炎症を取るなどし、それでも痛みが取れないときは、競技を続けてはいけないうってあげられる人があるかどうかになります。ただ、痛みだけだと、子どもの場合はとくに「成長痛」だと保護者が勝手に思うこともあり、最近子どもでも疲労骨折が増えています。

——子どもでも？

川西：はい。私が15年くらい前、関東労災病院に勤務していたときは、6歳以下の疲労骨折を3例発表できたくらい珍しかっ



図3 19歳男性、第5中足骨基部疲労骨折

たのですが、そのときも「子どもは痛みがあれば運動しないはずだが」と質問されたときに、「スポーツ熱が高まり、保護者やチームの期待が高まりすぎ、子どもはその期待に応えようとしているだけです」と答えると、静まりかえりました。そういうケースの典型として、先日受診された6歳の幼稚園児です。大腿骨の疲労骨折です。

——競技は？

川西：競技はしていません。

——え？

川西：その幼稚園での走り込みやジャンプなどの指導によるものです。

——幼稚園で？

川西：そう、確実にやらせすぎです。その後、その幼稚園が主宰しているサッカーチームの選手が10歳で2時間走を行わせ、足関節がおかしいということで受診されたこともあります。私は、テクニック（動きや技術）を教えるべき時期に、根性練習をしているということで、それは子どものことというより、大会で優勝する等の大人の手柄の問題ではないかと思っています。そういう間違った指導は今でもたくさんありま

す。骨が成長する段階でストレッチを重視しないような偏ったトレーニングをするコーチなりトレーナーにあたってしまった子どもたちは不幸です。成長期は、骨がどんどん伸びていくときに、筋の発育は追いつかず、それだけで骨にストレスがかかりますから、故障も起こしやすくなれば、疲労骨折も起こりうるし、関節の靱帯や軟骨、半月板などを傷める確率も高くなります。そういう大事なことを理解して、子どもの運動、スポーツ指導をする人がいる環境がもっとも重要です。

——野球肘もそうですね。

川西：野球肘も典型的な内側上顆とか外側上顆などで炎症を起こす骨軟骨障害で、これも過度の運動、疲労の問題でしょう。

——子どもの疲労骨折は大人の責任。

川西：はい。私はそう思います。あとは、子どもが「痛い」と言っても、「痛いのは当たり前だ」と言うコーチや大人に会わないようにするのがいいのですが、それがまた難しい。子どもに対しても、いまだに体育会系的厳しさをよしとしたり、中学高学年まで背が伸びるということを考慮して指導に取り組んでいる人がまだそう多くはないのではないかと思います。背が伸びている時期にこうしたトラブルが多いので、私は、成長期に根性練習をする必要はまったくなくて、本当に子どもたちをトップアスリートにしたいのであれば、その期間はテクニックを磨き、背が伸び終わるころに、フィジカルな練習を入れていけばいいだろうと考え、そう言ってきました。

骨折を少しでも早く治す

——骨折後は生理的反応なので、治療する期間は決まっている。それを1週間でも早めたいという場合は？

川西：それは、どのコーチもトレーナーも全員思っているはずですが。折れてしまったときには、今度はどうやって短期間でつけるかが勝負なので。

——何か方法がある？

川西：実際には「方法」というものはなく、