

破損症例 2 例から見た γ - ネイル型髄内釘の適応に関する生体力学的検討

A Case Report regarding the Failed Intramedullary Nail (Gamma Nail type) in Trochanteric Femoral Fracture : The Indication and Biomechanics

小林 正典*

Masanori Kobayashi

Summary

Nowadays, the Gamma nail is widely used as the intramedullary nail device of trochanteric femoral fracture. We report the case of two patients with trochanteric fracture originally treated using a trochanteric gamma nail which failed. Two mechanical failure of the gamma nail were encountered at over one year after the operation. Both nails failed at the junction of the compression screw and the nail. The angle of failure of the nail was the same in both cases.

From considering biomechanical conditions of the broken trochanteric gamma nails in these cases, we could suspect this mechanical failure of the gamma nail might due to much higher loading condition than original indicative applied load.

Even if the gamma nail has a high mechanical quality and function for bone fixation, the essential requirements for treatment of trochanteric femoral fracture using this gamma nail are to provide anatomical reduction, mechanical stability for bone fracture and biological stimulation to achieve bone healing

キーワード：大腿骨転子部骨折，ガンマネイル（ γ - ネイル），破損，バイオメカニクス

Keywords：Trochanteric femoral fracture, gamma nail, Intramedullary Nail Device fracture, Biomechanics

1. 序論

大腿骨転子部骨折は，骨粗鬆症を有する高齢者が転倒して容易に発生する骨折のひとつである．高齢者の場合は，骨折の疼痛や転位防止のための長期安静臥床は，極度の食欲不振，痴呆症，上気道感染などの全身状態の悪化を招き易いため，この骨折を生じた場合には，早期離床を最優先させた内固定器具による骨折手術がまず適応となる¹⁾．

この大腿骨転子部骨折の内固定治療法の 1 つに γ - ネイル（ガンマネイル）法がある（図 1）． γ -ネイルは，骨頭・骨頸部に挿入するラグスクリューと骨幹

部の髄内に挿入するネイルおよびネイルを骨幹部に固定するスクリューから構成され，頸部ラグスクリューのスライディングにより，骨折部に圧迫力が働くように創られた．ガンマネイルは強固な固定力と生体力学的優位性²⁾により早期荷重が可能であり，閉鎖的手技により良好な骨癒合をもたらす．そのため，大腿骨転子部骨折に対して広く用いられ，安定した術後成績が報告されている³⁾．

今回この γ -ネイルを使用して大腿骨転子部骨折を固定，その後この髄内釘の破損をきたして再手術を行ったリハビリテーション患者 2 名を経験したので，この髄内釘の破損と骨折への適応について機械材料に

* 工学部総合機械工学科

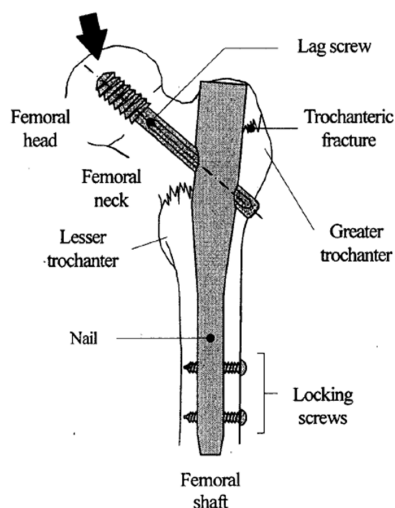


Fig.1 Schematic diagram of the of trochanteric fracture femur with Gamma nail.

かかる生体力学（バイオメカニクス）の観点から検討することとした。

2. 症例

2.1 症例 1

男性，年齢 76 歳

平成 25 年 5 月転倒して負傷，左大腿骨転子部（頸部基部）骨折（図 2(a)）にてγ - ネイルによる固定術を受けた（図 2(b)）．術後リハビリテーションを受けた後に退院，その後は通常の生活を送っていたが，股関節痛は持続していた．平成26年9月ごろより痛みが増強，診察の結果髓内釘の破損，骨折部の偽関節化を指摘され（図 2(c)），再手術（人工骨頭置換術）を施行された（図 2(d)）．

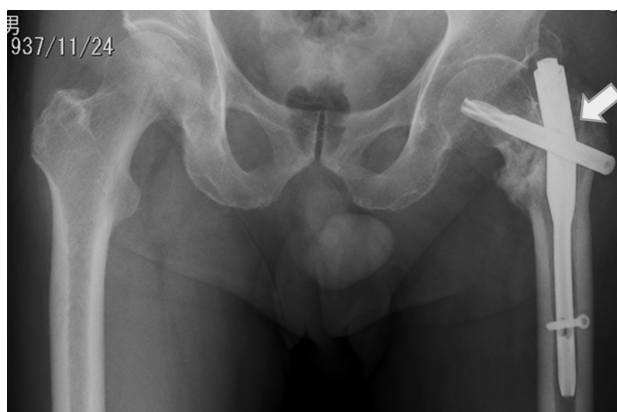
(a)



(b)



(c)



(d)

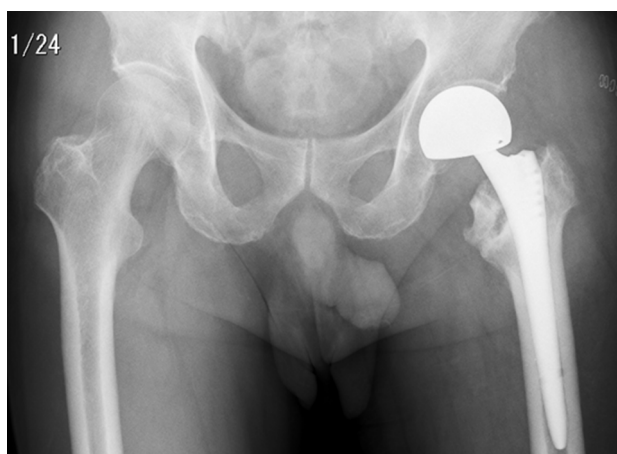


Fig.2 Anteroposterior radiograph of Case-1 with femoral trochanteric fracture

(a) The photograph demonstrating a left trochanteric femoral fracture

(b) The photograph demonstrating the reduction and fixation of the fracture by gamma nail

(c) The photograph demonstrating broken nail

(d) The photograph demonstrating the removal of the broken nail and the artificial femoral head replacement.

2.2 症例 2

女性, 85 歳

平成23年転倒して右大腿骨転子下を骨折(図3(a)), 近医で髓内釘(γ-ネイル)固定を受けた(図3(b)). その後通常の生活を送っていたが, 平成26年7月ごろより同部の痛みを自覚, 診断の結果, 髓内釘の破損と前回骨折部の再骨折を指摘され(図3(c)), 骨移植を含めたγ-ネイル(ロングタイプ)の再固定術を受けた(図3(d)).

(a)



(b)



(c)



(d)



Fig.3 Anteroposterior radiograph of Case-2 with femoral trochanteric fracture

(a) The photograph demonstrating a left trochanteric femoral fracture

(b) The photograph demonstrating the reduction and fixation of the fracture by gamma nail

(c) The photograph demonstrating broken nail

(d) The photograph demonstrating the removal of the broken nail and the artificial femoral head replacement.

2.3 症例の検討

両者2例にはいくつかの共通点が見られた。まず, いずれも Evans 分類¹⁾では小転子部が大きく粉碎して離れた不安定型骨折であったこと, さらにγ-ネイルでの治療後にも, この小転子部の整復は十分になされておらず, 固定での安定性に欠けていたと考えられた。

また髄内釘の破損部位がラグスクリューの進入孔で生じていたことも共通であった。

3. 考察

3.1 γ - ネイルの固定性のメカニクス

1987 年 Gross らによって発表された γ - ネイルは、いくつかの改良と共に現在広く使用されている

ネイル自体の強度と荷重軸に近い髄内釘固定に対しては強固な固定が得られ、またネイル部分の支持により頸部の過剰な短縮が制限されており、良好な固定性が得られ、術後のトラブルも少ないネイルと評価されている。

特に生体力学的な特徴（優位点）としては、以下の2つが挙げられる。

3.1.1 ラグスクリューによる骨折部の圧着と転位予防

γ ネイルに採用されているラグスクリューは、骨頭・骨頸部を固定するためのもので、骨幹部の髄内に挿入するネイルと連動して動くように構成され、頸部ラグスクリューのスライディングにより、骨折部に圧迫力が働くように創られた。

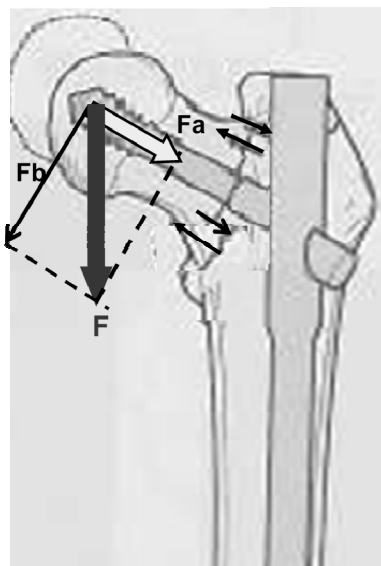


Fig.4 Schematic diagram of the mechanical stress of trochanteric fracture femur with Gamma nail.

もともと股関節では、バイオメカニクスの上図4のように荷重 F がかかる形となり、骨折部が不安定で骨粗鬆症が進行している症例では、荷重に伴い骨折部が変形するため、スライディング機構を持たないス

クリューでは骨折部が崩壊してしまう危険性がある。これに対してスライディング機構をもったラグスクリューでは、 F の分力 F_a によって頸部の短縮とともにスクリューが遠位へ移動し、近位骨片と遠位骨片とが圧着した形で安定するため、早期の歩行機能と骨癒合機能も併せて維持されることを可能にした画期的なスクリューである。このスクリューの出現により、大腿骨転子部骨折の手術成績は格段に向上したとされている。

3.1.2 アームの短縮による荷重強度の向上

このラグスクリューを用いる大腿骨転子部骨折に対する骨接合術は、 γ - ネイル以外にも compression hip screw 法（以下 CHS 法）があるが（図 5(a)）、CHS 法は遠位骨片をプレートで固定し骨頭の固定はラグスクリューを用いる方法である⁴⁾。

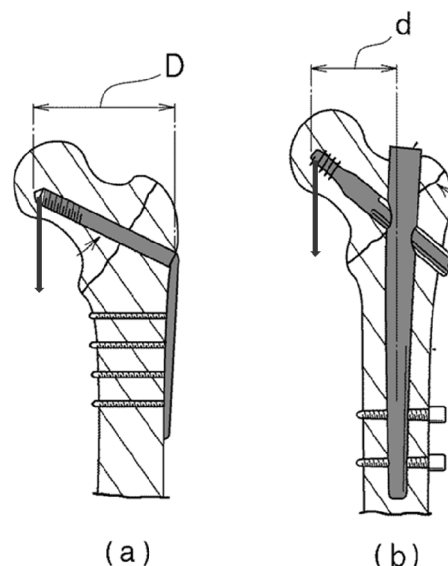


Fig.5 Comparison of the mechanical moment of Compression hip screw (CHS) and Gamma nail.

γ - ネイル法の利点としては、ネイルとスクリューの距離（アーム）が短いため、荷重時にかかるラグスクリューへの屈曲モーメントが CHS 法と比べ小さくなり力学的に有利であり（図 5）、このため生体への手術侵襲が少ないことも相俟って、術後早期より荷重歩行を進めることができる。

3.2 本症例での検討

このような利点を持つ髄内釘ではあるが、今回の 2 例の症例では、このバイオメカニクスの利点があま

まず、頸部ラグスクリューのスライディングが働いて骨折部に圧迫力が働くためには、股関節での垂直荷重 F が図 4 のように 2 つの分力 F_a と F_b に分かれなければならない。このためには、この髓内釘に対して垂直荷重が掛かった状態が、いわゆる静定構造でなければならないが、今回の 2 症例では小転子部での骨片の解離が大きいために、この部位での支持が十分に働かず、分力 F_b 及びそのモーメントによる不静定状態であったと考えられる。



Fig.6 Anteroposterior radiograph of femoral lesser trochanteric fracture area of two cases

そして、この状態では、荷重 F_b によるラグスクリューを介しての曲げモーメントが働き、髓内釘のスクリュー進入部の開口部に大きな引張り応力が作用する形となったと考えられる。実際のこの 2 症例ともに、髓内釘のラグスクリューの進入孔外側から伸展する破断が生じており、機械力学的な考察通りの力が働いていたものと考えられる (図 2 及び 3)。

また、これらの髓内釘の基本材料となっているのは、チタン金属であるが、純チタンは、その結晶構造(hcp)から滑り面が少なく、強度は高いものの加工性には乏しく、骨固定用プレートのネジ孔などの破壊の起点となる部位が存在する場合には、脆性破壊が生じやすいと指摘されてきた。これに対して新たに開発された $\alpha + \beta$ 型チタン合金 (Ti-6Al-4V 合金) は優れた機械的強度と靱性を兼ね備えており、広く骨折内固定材として広く使用されている。しかしながら、疲労強度に関しては、チタン合金でも、 α および β 相の組織構造の影響を受け、延性の低い α 相 (hcp 構造) の亀裂の発生から疲労寿命を決定する可能性が存在する^{5,6)}。

また、過去の上田らの他の γ ネイルの破損報告^{7,8)}

でも、骨折部に偽関節化、骨癒合遅延の状態になっていた症例に同様のネイルの破損が生じており、これらを考慮すれば、髓内釘のスクリュー進入部での長期間の曲げモーメントの力学的負荷による金属疲労が大きな要因と推察される。

もともと γ ネイルの CHS 法に比しての欠点としては、侵襲の少ない閉鎖式手術である分、骨折部の整復が困難なことが指摘されており、本来の γ ネイルの機能性を鑑みれば、このような骨折のパターンにこの髓内釘を使用することは、十分に慎重に検討しなければならない。しかしながら、実際の臨床の現場では、高齢化社会を迎えて、骨粗鬆症に起因するこの骨折患者が急増していること、救急対応となることから一人一人の患者の骨折の形態に応じて個別に対応する時間的、人的余裕が困難になっていることから、この非侵襲性と強固な固定性のみが強調されて、この髓内釘を使用した安易な対応にならざるを得ない状況が進んでしまっていることが懸念される。

今後は、医師サイドもこのような γ ネイルの機能性やバイオメカニクスの知識を十分に理解して、骨折の型によっては安易な使用を控えるとともに、手術の固定性が良好であっても、術後リハビリの段階から、常にスタッフと協議し、運動療法の進行に合わせた荷重による骨折転子部への影響、骨癒合の状態について注意を払う必要がある。

さらに症例によっては長期の定期的な X 線像のチェックやフォローも必要である。

4. 結語

今回、骨粗鬆症の高齢者の代表的骨折である大腿骨転子部骨折の内固定に広く使用されているガンマネイル固定法を行われた患者で髓内釘のスクリュー進入部で破損を生じた症例 2 例を経験した。これらの骨折の形態と固定方法を検討すると、ネイルにかかる機械力学的な負荷が通常の使用状態より大きかったことが推察された。今後さらに増加すると考えられる高齢者の大腿骨転子部骨折の内固定治療法としてこの種の髓内釘を使用する場合、術者は、そのバイオメカニクスの機能について十分な理解するとともに、術前から個々の症例での適応についての検討が必要と考えられた。

参考文献

- 1) 山野慶樹編 整形外科プライマリケア 文光堂, 東京 1998
- 2) 巖希哲, 格内敏, 坂本亨, 阿保政義, 藤原紘朗 有限要素法による大腿骨転子部骨折固定器具の評価

- (ガンマネイルの力学的特性について) 日本機械学会論文集 (A 編) 69 - 677 p.135-140 2003
- 3) 日本整形外科学会, 日本骨折治療学会 大腿骨頸部/転子部骨折診療ガイドライン 南江堂, 東京 2011
- 4) 菊池大臣一, 中村利孝, 越智光夫編 経験すべき外傷・疾患 97 77 大腿骨頸部/転子部骨折 メディカル・ビュー, 東京 2006
- 5) 皆川邦典 チタン合金の疲労破壊 鉄と鋼 Vol.7 p. 1104-1111 1989
- 6) 成島尚之 チタン, チタン合金 バイオマテリアル(生体材料) 23-2: 特集 金属材料を知る p.86-93 2005
- 6) 上田 明希, 斎藤 聡彦, 岩城 公一, 笠井 隆一, 大寺和満 大腿骨頸部骨折治療後の gamma nail 折損症例の検討 中部日本整形外科災害外科学会雑誌 Vol. 49 (1) 2006.
- 7) Najibi S, Mark L, Fehnel D. Mechanical failure of the long gamma nail in two proximal femur fractures. Iowa Orthop J. 30 p.205-10. 2010;