

不安定性骨盤骨折に対する各種 iliosacral screw の 三点曲げ強度試験

奈良県立医科大学救急医学教室

野 阪 善 雅, 稲 田 有 史, 川 西 弘 一, 前 田 裕 仁
三 野 浩 也, 宮 本 誠 司

THE THREE-POINT BENDING TESTS OF VERSATILE ILIOSACRAL SCREWS FOR THE TREATMENT OF UNSTABLE PELVIC FRACTURES

YOSHIMASA NOSAKA, YUJI INADA, KOICHI KAWANISHI, YUJI MAEDA,
HIROYA MITSUNO and SEIJI MIYAMOTO

Department of Emergency and Critical Care Medicine, Nara Medical University

Received October 15, 1999

Abstract : It is generally accepted that internal fixation using iliosacral screws for unstable pelvic fractures is effective. However, the placement of iliosacral screws is technically demanding and it has been reported that screws can be damaged by the load from the early part of the postoperative stage. We have reported that the dull insertion method of placement of iliosacral screws and combination of motor-evoked potential monitoring can reduce complications, whereas the strength of the iliosacral screws is unknown. The aims of this study were to measure the strength of screws that we have used clinically and are being used currently, and to evaluate whether these screws are proper for use as iliosacral screws. The strength of screws was measured by the three-point bending test. Screws were divided into four types as follows : a solid screw made of titanium (8.0 mm in diameter) (Screw-A), a cannulated screw made of titanium (8.0 mm in diameter) (Screw-B), a cannulated screw made of titanium (6.5 mm in diameter) (Screw-C) and a cannulated screw made of stainless steel (7.0 mm in diameter) (Screw-D). Screw-A is the screw that we have used clinically and the others are screws that are used currently. Five screws were measured one-by-one per each type and five pairs of Screw-C were measured. Screw-A samples were not broken ; moreover, they withstood loads exceeding 1000 kgW. Screw-B samples were broken by a load of 320 ± 48.7 kgW. Screw-C samples were broken by a load of 150 ± 0.0 kgW. Screw-D samples were not broken, but lost rigidity by a load of 132 ± 8.4 kgW or more. Pairs of Screw-C were broken by a load of 484 ± 35.1 kgW. In conclusion, Screw-A, which we have used clinically, and pairs of Screw-C, may be proper material for use as iliosacral screws.

(*奈医誌. J. Nara Med. Ass.* 50, 551~559, 1999)

Key words : unstable pelvic fracture, iliosacral screw, three-point bending test, intensity of screw

緒 言

不安定性骨盤骨折に対する iliosacral screw(以下, IS screw)による内固定法は, 1978 年 Letournel により合併症のない仙腸関節脱臼骨折に対し, 腹臥位での観血的整復固定術として初めて報告された¹⁾. しかし, 第三次救急の現場に搬送されてくる不安定性骨盤骨折患者は, 腹腔内出血を含め多くの合併症があることが多く, 腹臥位をとることが困難なことが多い. その欠点を解決する方法として, Routt らは, 仰臥位でのイメージ透視下経皮的挿入法を報告した^{2,3)}. 本法は, 機能予後が創外固定術よりも早期の内固定により改善されること⁴⁻⁷⁾, 創外固定術に比べ開腹術が施行しやすいこと⁸⁾, 内固定法として運動力学的に優れていること⁹⁾, 早期にリハビリテーションに移行できることなどの理由により欧米を中心に, 広く普及してきた.

しかし, Routt らの方法ではイメージ透視下で経皮的にガイドワイヤーを挿入せざるを得ないため, 神経損傷, 脊椎管誤刺入および血管損傷などのいくつかの合併症が少なからず報告された^{2,10,11)}. また, 術後早期の運動負荷でスクリュー自体の破綻も報告され, Routt らも, 244 例中 5 例(2.05%)の破損例があると報告した^{2,10,11)}. 彼らを用いてきたスクリューは, K-wire を鋭的に刺入した後, これをガイドとして刺入する cannulated type のスクリューが主である. このタイプのスクリューは, 中空構造をとり, そのため非中空タイプのスクリューに比べ強度は劣る. そこで, 我々の教室では IS screw での内固定法の導入に当たり K-wire によるガイドを必要としない鈍的刺入法を導入し¹²⁾, 非中空タイプのスクリューを用いることにより強度を高めた. しかしながら, IS screw ならびに前方要素の骨固定を追加してもなお術後早期よりの全荷重に耐えられる固定には及ばないとの報告もあり¹³⁾, これらの材料を使用した術後後療法は依然一定の見解をみない. さらに, IS screw 自体の強度に関する報告は, 我々の調べる限り, これまでに報告されていない.

今回の研究目的は, これまでに臨床で実際に使用された材質, 太さの異なる各種の IS screw において 3 点曲げ試験を用いて力学的強度を知ることである.

対象と方法

1. 対象

現在我々が用いているロバート・リード商会製 ISORA イリアック・スクリューを含めた 4 種類 30 本のスクリューの強度を計測した.

試料 A (Screw-A): ロバート・リード商会製 ISORA

イリアック・スクリュー(製品番号: 5200-7.0, キャンセルラス・スレッド部直径 7.0 mm, 軸直径 7.0 mm, 長さ 80.0 mm, 材質: チタン, 非中空タイプ)

試料 B (Screw-B): ACE 社製 CANNULATED CANCELLOUS LAG SCREW(製品番号 14192-80, スレッド部直径 8.0 mm, 軸直径 5.5 mm, 長さ 80.0 mm, 材質: チタン, 中空タイプ)

試料 C (Screw-C): ACE 社製 CANNULATED CANCELLOUS LAG SCREW(製品番号 14196-80, スレッド部直径 6.5 mm, 軸直径 5.0 mm, 長さ 80.0 mm, 材質: チタン, 中空タイプ)

試料 D (Screw-D): 日本マティス株式会社製キャニューレイトッドスクリュー 7.0 mm(製品番号 208-080, スレッド部直径 7.0 mm, 軸直径 4.5 mm, 長さ 80.0 mm, 材質: ステンレス, 中空タイプ)

試料 A は現在我々の教室で用いているスクリューである¹²⁾.

試料 B, C, D は従来の報告^{2-11,13-16)} で用いられているタイプのスクリューで, cannulated type である. 対照群として評価した.

まず, 各試料とも 1 本での強度を 5 本ずつ計 20 本について評価した. (実験 1)

さらに, 試料 C は, 临床上 2 本あるいはそれ以上の複数本用いられることもあることを考慮し 2 本 1 組での強度を 5 組計 10 本評価した. (実験 2)

2. 方法

実験 1・2 とも, 三点曲げ試験^{17,18)} により強度を評価した.

実験 1 では, 支点の間隔は 30 mm で先端より 40 mm, 70 mm の 2 点とした. 試料を水平にして, 両支点の中央部, 先端より 55 mm の点に垂直で長軸に対し 90° で荷重を加えた. (Fig. 1)

実験 2 では, 2 本の試料を 20 mm の間隔で平行に置き実験 1 と同様に荷重を加えた(Fig. 2).

荷重装置は, AIR HYDRAULIC PRESS を用いた(Fig. 3).

荷重は垂直方向の歪み距離が 10 mm となるまでおこない, 垂直方向の歪み距離 1 mm 毎に, 荷重量を計測した. ただし, 歪み距離が 10 mm となるまでにスクリューが破断した場合は, その時点で荷重を終了した.

3. 解析

剛性の喪失は, Paired t-test を用いて, 有意差が消失した点とした.

試料間の強度比較は, Student's t-test にて行った.

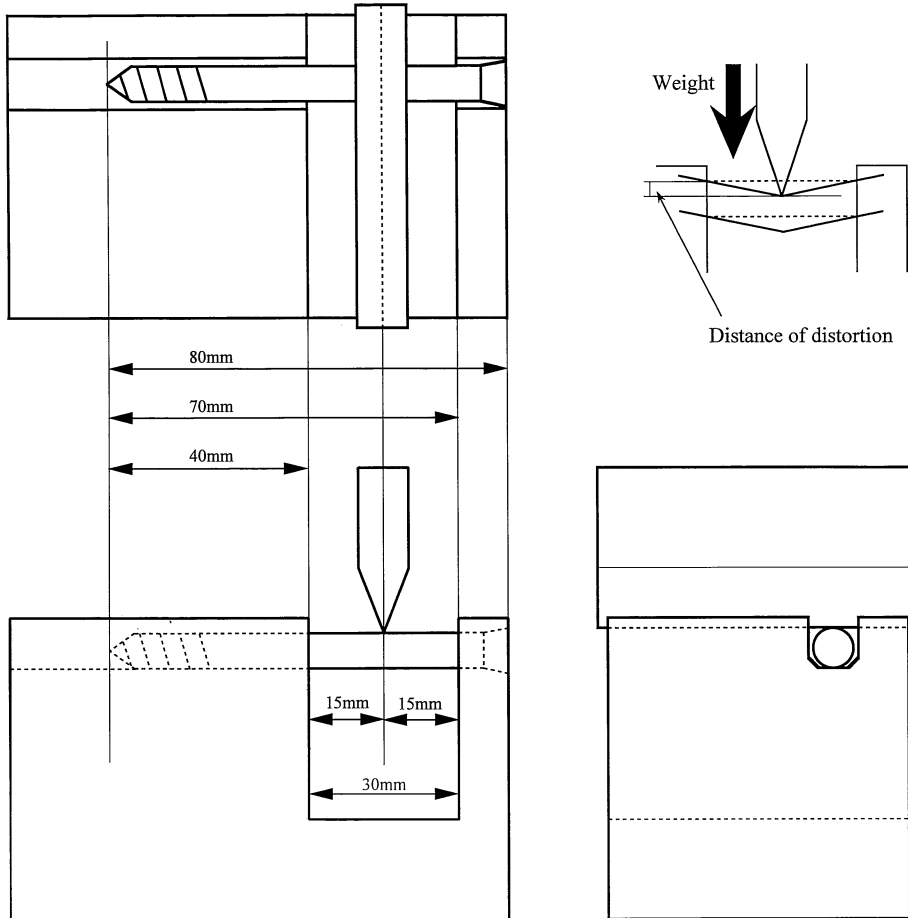


Fig. 1. a) Layout of the bending device for single screw.

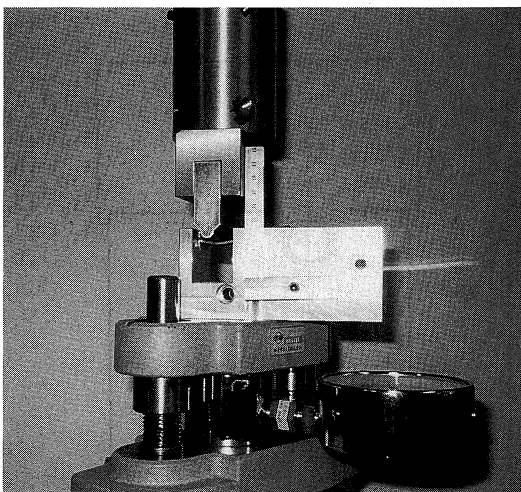


Fig. 1. b) Photo of the bending device for single screw.

結 果

1. 実験 1

試料Aは、1 mm 歪ませるのに 360 ± 77.0 kgW を要した。1000 kgW におよぶ荷重でも剛性を保ち、破断も認めなかった。(Fig. 4)

試料Bは、1 mm 歪ませるのに 202 ± 30.3 kgW の荷重を要した。302 \pm 44.4 kgW の荷重で剛性を失い、320 \pm 48.7 kgW の荷重で破断した(Fig. 5)。

試料Cは、1 mm 歪ませるのに 104 ± 15.1 kgW の荷重を要した。148 \pm 4.5 kgW の荷重で剛性を失い、150 \pm 0.0 kgW の荷重で破断した(Fig. 6)。

試料Dは、1 mm 歪ませるのに 78 ± 4.5 kgW の荷重を要した。132 \pm 8.4 kgW の荷重で剛性を失ったが、破断はしなかった(Fig. 7)。

試料Aは、試料B, C, Dに対して、有意に高い強度

を示した(Fig. 9).

2. 実験2

試料Cを2本1組とした測定では、1mm歪ませるのに276±15.2kgWの荷重を要した。424±45.1kgWの荷重で剛性を失い、484±35.1kgWの荷重で破断した(Fig.8).

試料Aは、試料C2本一組の場合に対しても、有意に高い強度を示した(Fig. 9).

考 察

救急医療の中で、骨盤骨折は高い死亡率を示す重篤な外傷疾患であり、その死亡率は、骨盤骨折単独の症例で5-20%，合併損傷のある症例では50-90%にも達するという¹⁹⁾。しかし、これまでの救急医療の発展により超早期

の骨盤創外固定と選択的血管造影・塞栓術との組合せにより、死亡率が10%以下になったとする報告²⁰⁻²²⁾もみられるようになり、次の段階として患者の社会復帰とQOL(Quality of Life)が問題となってきた。

Tile分類²³⁾のType B, Cのような不安定性骨盤骨折に対するIS screwによる内固定法は、早期よりの荷重リハビリテーションが可能であり機能予後を改善させることは、既に我々も含めて多くの報告がある^{2,3,10-15)}。

しかしながら、IS screwの刺入に際しての問題点は、刺入自体が技術的に困難であることである。解剖学的には、腸骨翼より第1仙椎椎体に刺入されることが多く、生体力学上十分な強度を得ようとするれば、第1仙椎椎体中央まで達する長さの刺入が必要とされる²⁴⁾。従って、刺入操作中誤って前方に抜ければ第4・5腰椎神経根、内腸

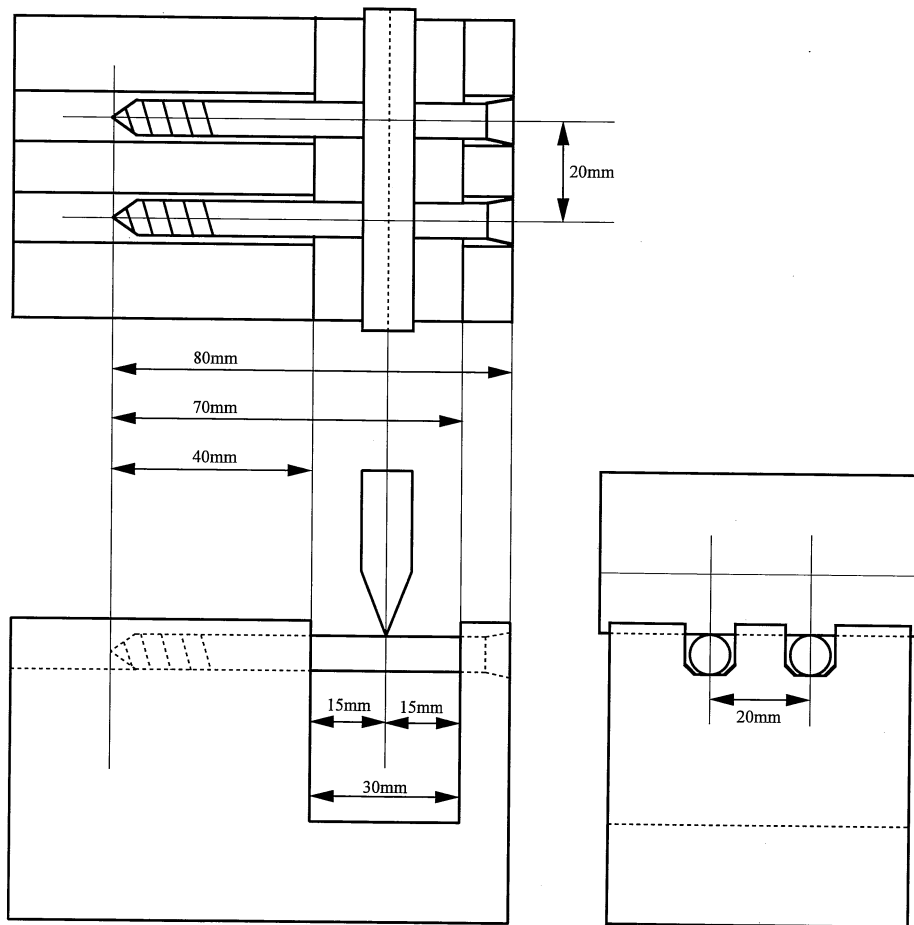


Fig. 2. Layout of the bending device for double screws.

骨動静脈やその分枝、閉鎖神経が損傷される可能性があり、後方へ傾けば脊柱管内への誤刺入となる可能性がある。刺入に際しても、肥満患者や腹腔内ガス貯留のある場合などは透視が困難であり、正確な刺入が難しくなる¹²⁾。これらの問題点を解決するため我々の教室では、IS screw による内固定法の導入にあたり、鈍の刺入法と運動機能モニタリング(motor-evoked potential monitoring)を併用している。すでに本法についての詳細は共著者の稲田らが報告してきた¹²⁾。彼らは本法を用いることにより9例17本のIS screwの刺入が安全に施行できたと報告したが、われわれの第1仙椎周辺の解剖学的研究²⁵⁾からも明らかのように、スクリーの刺入部位は非常に限られた場所であることにはかわりはない。それゆえ、刺入するスクリーの数はできるだけ少ない方がよいと考えられる。

仙腸関節は形態学的には滑膜関節である²⁶⁾が、その構造上の不合理を補うために周囲の強靱な靱帯により支持され、緩衝装置としてわずかな動きが許されている



Fig. 3. Photo of the machine for three-point bending test.

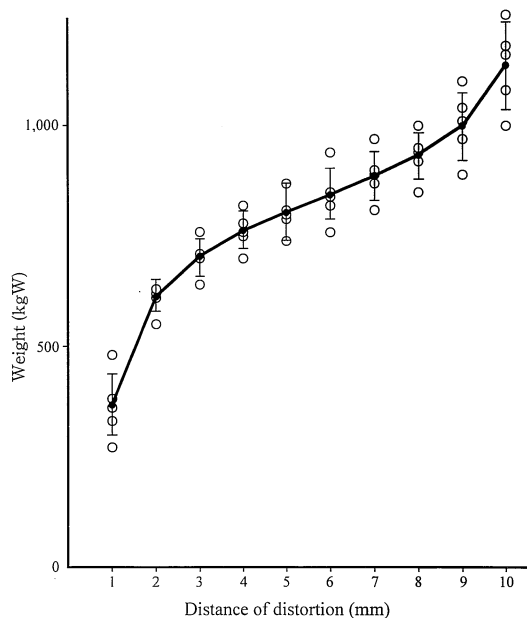


Fig. 4. Result of measurement (Screw-A)
Screws were not broken and endured a load which exceeded 1000 kgW.

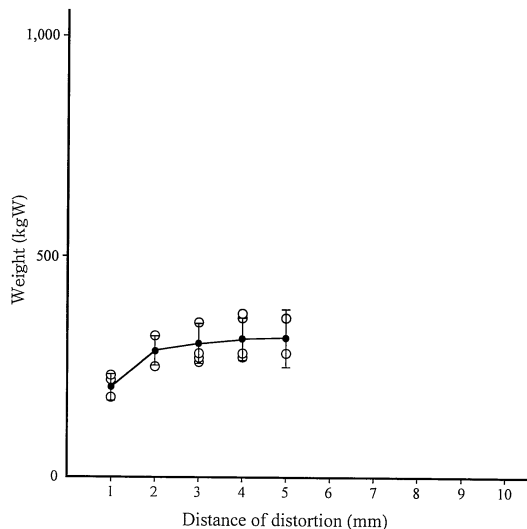


Fig. 5. Result of measurement (Screw-B)
Screws lost rigidity by a load of 302 ± 44.4 kgW and were broken by a load of 320 ± 48.7 kgW.

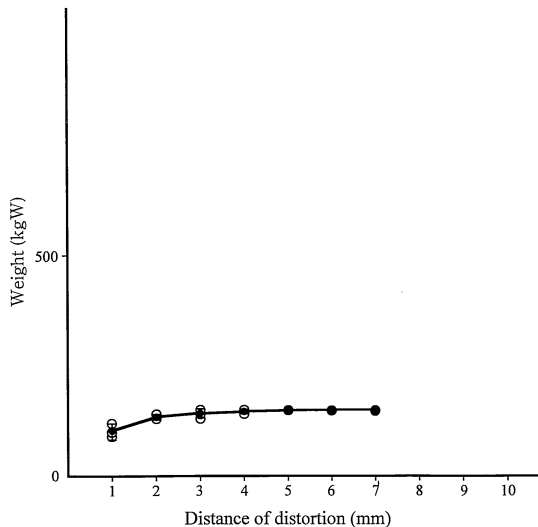


Fig. 6. Result of measurement (Screw-C)
Screws lost rigidity by a load of 148 ± 4.5 kgW and were broken by a load of 150 ± 0.0 kgW.

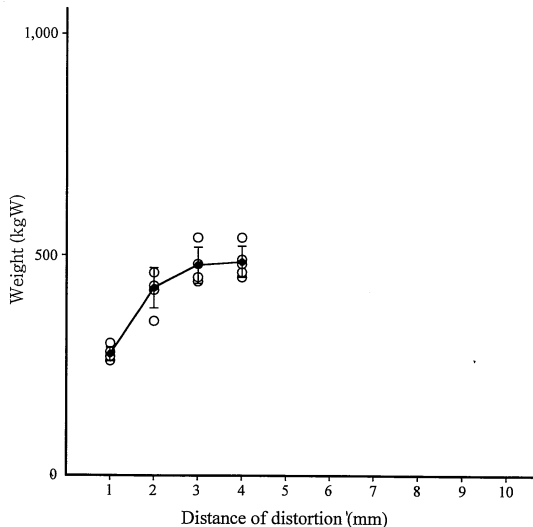


Fig. 8. Result of measurement (Screw-C: double screws)
Pairs of Screws lost rigidity by a load of 424 ± 45.1 kgW and were broken by a load of 484 ± 35.1 kgW.

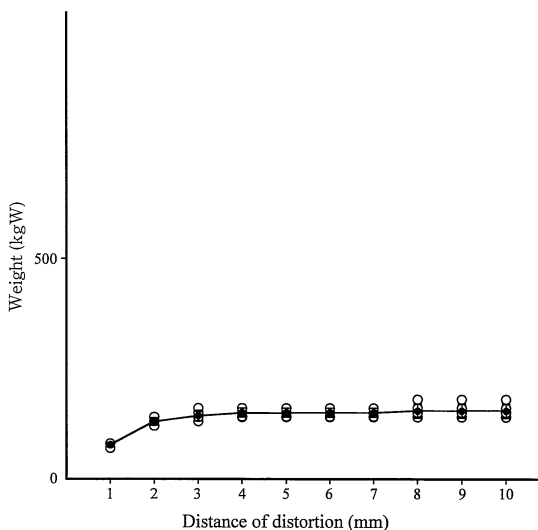


Fig. 7. Result of measurement (Screw-D)
Screws were not broken but lost rigidity by a load of 132 ± 8.4 kgW or more.

る²⁷⁻²⁹。脊柱と骨盤との接合部にあり、骨盤輪の中にあつて脊柱から下肢への荷重の伝達分散にあずかる重要な荷重関節である。生体での仙腸関節の可動範囲の報告は、多くが1 mm未満としているが、0.4-7 mmとかなりのばらつきがある³⁰⁻³⁴。これは生体での正確な計測が困難なためだとされる²⁹。一方、屍体骨盤では、高山²⁹が、100 kgWの荷重に対し0.18-0.73 mmの偏位がみられたと報告した。

日常生活で仙腸関節面にかかる荷重についての報告は今回検索し得なかった。しかし、姫野ら³⁵は、体重70 kgWの人が片脚立位をとった場合約2000 Nの荷重が同側の臼蓋にかかると報告しており、また久米ら³⁶は、前傾姿勢では、骨盤部に2000-3000 Nもの荷重がかかると報告した。この荷重の全てが仙腸関節にかかるとは言えないが、少なくとも200-300 kgWの荷重がかかると考えれば、今回の測定で、単独でこの荷重に耐えうる可能性を示したのは試料Aのみであった。試料Bは、300 kgW未満で5本中3本が破断した。試料Cは、150 kgWの荷重で全て破断した。試料Dは、破断しなかったが、200 kgWまでの荷重で全てが強度を失った。

実際の臨床では、IS screwの強度を高めるために小さな第1仙椎に2本ないしそれ以上複数本の固定をするこ

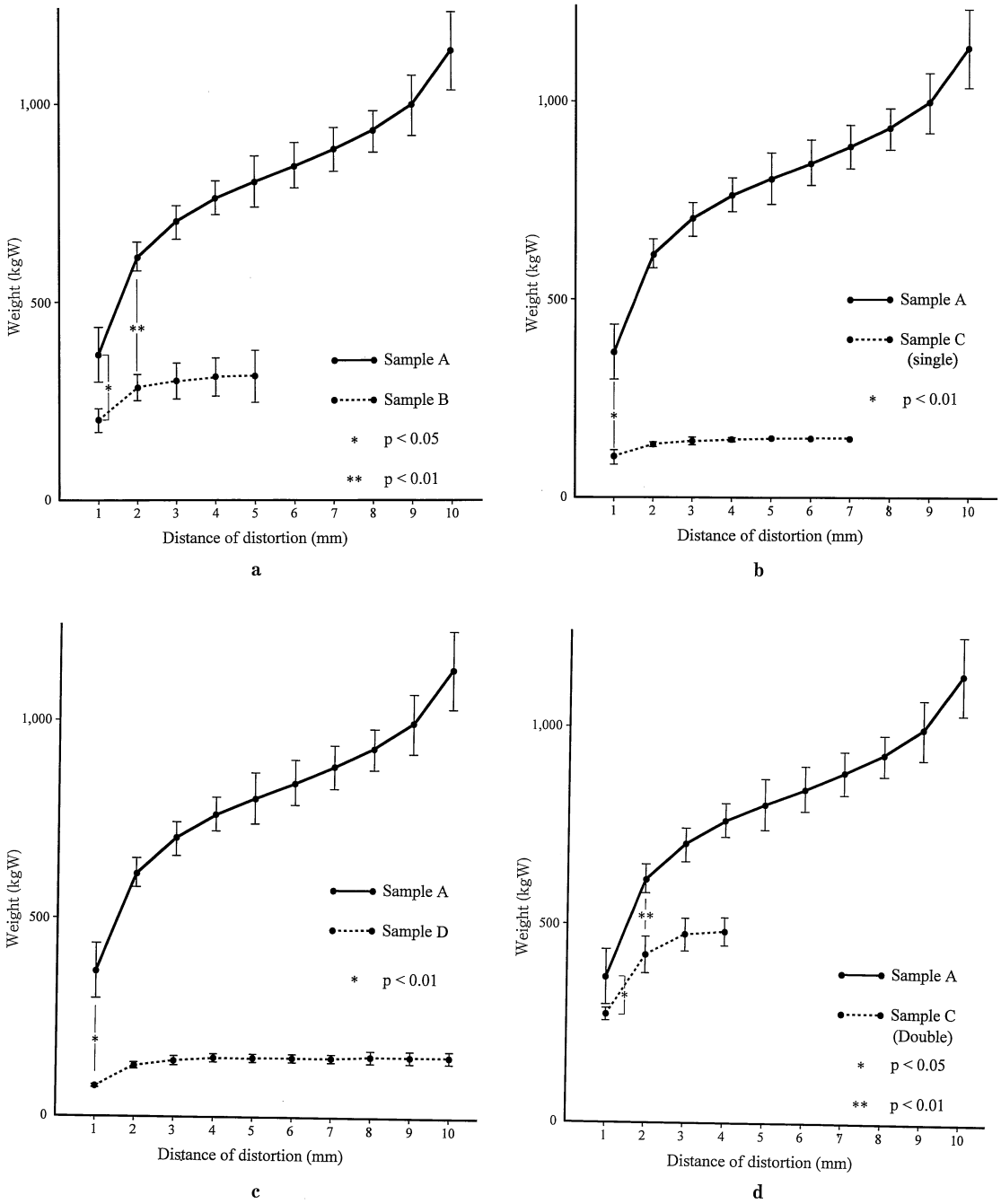


Fig. 9. Analysis of the strength of screws

- a) Screw-A vs. Screw-B
 - b) Screw-A vs. Screw-C (measured for single screw)
 - c) Screw-A vs. Screw-D
 - d) Screw-A vs. pairs of Screw-C (measured for double screws)
- Screws of Screw-A were significantly stronger than the other screws.

とがある。これを想定して試料Cを2本1組で用いたが、400 kgW以上の荷重に耐えられるという結果が得られた。しかし、今回の実験条件は荷重が2本に均等にかかるかと仮定した上での測定であり、臨床上2本のスクリューを平行に刺入する事はほぼ困難であり、また平行に刺入できたとしても荷重が均等にかかることは少ないと考えられ、今回の実験結果より割り引いた荷重にしか耐えられないと考える必要がある。

我々の治療法に求められるIS screwは、1本で十分な力学的強度を有し、術後早期からの荷重に十分耐えうる可能性を持つ物ということになるが、以上より、試料Aが、我々の方法¹²⁾におけるもっとも適したスクリューであると考えられた。

ただ、今回の力学的強度の評価は3点曲げ試験のみで、引き抜き強度試験は行っていないためこの結果が全てではないと思われる。今後更なる検討を行うつもりである。

現在、不安定性骨盤骨折に対する術後からの全荷重を可能とする観血的整復固定法は報告されていない¹³⁾。今回検討した試料Aは、3点曲げ強度試験において全荷重に耐えうるに十分な強度を示しており、試料Aを用いた内固定法がこれを満たす症例となる可能性がある。ただし、不安定性骨盤骨折とくにvertical shearを伴うTile分類Type Cでは前方要素の固定術が必要なが多い。我々の報告¹²⁾でも9例中6例(66.7%)にリボンプレートによる前方要素の内固定を併用している。従って、IS screwによる内固定単独で行える症例は少ないと考えねばならないが、いずれにしろ臨床例の報告が待たれる。

今回の結果からは、術後早期離床を目指すならば、不安定性骨盤骨折のIS screwの選択には、試料Aの使用による鈍的刺入法を選択するか、もしくは中空スクリュー2本使用する経皮ピンニングを選択するのがよいと思われた。

結 語

- 1) 不安定性骨盤骨折に対する内固定法で用いられる4種類のiliosacral screwに対して、3点曲げ強度試験を行った。
- 2) 我々が用いているISORAイリアック・スクリュー(製品番号:5200-7.0, 軸直径7.0 mm, 長さ80.0 mm, 材質:チタン, 非中空タイプ, ロバート・リード商会製)は、IS screwとして有用であると考えられた。

(本研究の遂行にあたり研究施設をご提供いただいた(株)ロバート・リード商会技術顧問の橋岡徳康先生に感

謝の意を表します。)

文 献

- 1) **Letournel, E.** : Pelvic fractures. *Injury* **10** : 145-148, 1978.
- 2) **Routt, M. L. C. Jr., Meier, M. C., Kregor, P. K. and Mayo, K. A.** : Percutaneous ilio-sacral screws with the patient supine technique. *Ope. Tech. Orthop.* **3** : 35-45, 1993.
- 3) **Routt, M. L. C. Jr., Kregor, P. K., Simonian, P. T. and Mayo, K. A.** : Early results of percutaneous iliosacral screws placed with the patient in the supine position. *J. Orthop. Trauma* **9** : 207-214, 1995.
- 4) **Bosch, U., Pohlmann, T. and Tscherne, H.** : Primary management of pelvic injuries. *Orthopade* **21** : 385-392, 1992.
- 5) **Failing, M. S. and McGanity, P. L. J.** : Unstable fractures of the pelvic ring. *J. Bone Joint Surg.* **74-A** : 781-791, 1992.
- 6) **Shaw, J. A., Mino, D. E., Werner, F. W. and Murray, D. G.** : Posterior stabilization of pelvic fractures by use of threaded compression rods. Case reports and mechanical testing. *Clin. Orthop.* **192** : 240-254, 1985.
- 7) **Stocks, G. W., Gabel, G. T., Noble, P. C., Hanson, G. W. and Tullos, H. S.** : Anterior and posterior internal fixation of vertical shear fractures of the pelvis. *J. Orthop. Res.* **9** : 237-245, 1991.
- 8) **Matta, J. M. and Saucedo, T.** : Internal fixation of pelvic ring fractures. *Clin. Orthop.* **242** : 83-97, 1989.
- 9) **Schopfer, A., Hearn, T. and DiAngelo, D.** : Biomechanical comparison of fixation methods of an unstable pelvic ring with sacroiliac dislocation. *Orthop. Trans.* **18** : 17, 1994.
- 10) **Routt, M. L. C. Jr., Simonian, P. T. and Inaba, J.** : Iliosacral screw complications. *Ope. Tech. Orthop.* **7** : 206-220, 1997.
- 11) **Routt, M. L. C. Jr., Simonian, P. T. and Mills, W. J.** : Iliosacral screw fixation : Early complications of the percutaneous technique. *J. Orthop. Trauma* **11** : 584-589, 1997.
- 12) 稲田有史, 北川信一郎, 宮本誠司, 井上聡巳, 阪本

- 尚典, 川口昌彦, 古家仁 : Iliosacral screw を使用した不安定性骨盤骨折の観血的整復固定術—鈍的刺入法と運動機能モニタリング—. 日救医誌 11 (2) : in press, 2000.
- 13) **Model, B. R. and Karges, D. E.** : Techniques for reduction and fixation of pelvic ring disruptions through the posterior approach. Clin. Orthop. 329 : 102-114, 1996.
- 14) **Browner, B. D., Cole, J. D., Graham, J. M., Bondurant, F. J., Nunchuck-Burns, S. K. and Colter, W. B.** : Delayed posterior internal fixation of unstable pelvic fractures. J. Trauma 27 : 998-1006, 1987.
- 15) **Goldstein, A., Phillips, T. Sclafani, S. J., Scalea, T., Goldstein, J., Panetta, T. and Shaftan, G.** : Early open reduction and internal fixation of the disrupted pelvic ring. J. Trauma 26 : 325-333, 1986.
- 16) **Kellam, J. F., McMurty, R. Y., Paley, D. and Tile M.** : The unstable pelvic fracture. Operative treatment. Orthop. Clin. North Am. 18 : 25-42, 1987.
- 17) 日本機械学会 : 材料力学. 機械工学便覧 A2 : 1986.
- 18) **Maetin, JW.** : ものの強さの秘密. 材料強度学入門, 共立出版, 東京, 1975.
- 19) **Helfet, D. L.** : Fracture/Dislocation of the pelvis. Comprehensive review course for orthopedic surgeons. AAOS 2 : 1992.
- 20) **Burgess, A. R., Eastridge, B. J. Young, J. W. R., Ellison, T. S., Ellison, P. S. Jr., Poka, A., Batahon, G. H. and Brumback, R. J.** : Pelvic ring disruptions : Effective Classification system and treatment protocols. J. Trauma 30 : 848-856, 1990.
- 21) **Flint, L., Babikian, G. Anders, M., Rodriguez, J. and Steiberg, S.** : Definitive control of mortality from sever pelvic fracture. Ann. Surg. 211 : 703-707, 1990.
- 22) **Rimer, B. L., Butterfield, S. L., Diamond, D. L., Young, J. C., Raves, J. J., Cottington, E. and Kislán, K.** : Acute mortality associated with injuries to the pelvic ring : The role of early patient mobilization and external fixation. J. Trauma 35 : 671-677, 1993.
- 23) **Tile, M.** : Pelvic ring fractures : Should they be fixed. J. Bone Joint Surg. 70 : 1-12, 1988.
- 24) **Sashin, D.** : Critical analysis of anatomy and pathologic changes in sacro-iliac joints. J. Bone Joint Surg. 12 : 891-910, 1930.
- 25) 前田裕仁, 稲田有史, 川西弘一, 三野浩也, 相澤茂幸, 福島英賢, 野阪善雅, 宮本誠司 : 第1仙椎近傍における神経・血管解剖—Iliosacral screw 刺入における合併症予防をめざして—. 奈医誌 50 : 524-530, 1999.
- 26) **Beal, M. C.** : The sacroiliac problem ; Review of anatomy, mechanics, and diagnosis. J. Am. Osteopath. 81 : 667-679, 1982.
- 27) **Bellamy, N., Park, W. and Rooney, P. J.** : What do we know about the sacroiliac joint? Semin. Arthritis Rheum. 12 : 282-313, 1983.
- 28) 水野祥太郎 : 仙腸関節のくじき痛み. 医のあゆみ 99 : 271-277, 1976.
- 29) 高山景範 : ヒト仙腸関節の応力および動きに関する研究. 日医大誌 57 : 476-485, 1990.
- 30) **Stursson, B., Selvik, G. and Uden, A.** : Movement of the sacroiliac joints. Spine 14 : 162-165, 1989.
- 31) **Borell, U. and Fernstrom, I.** : The movements at the sacroiliac joints and their importance to changes in the pelvic dimensions during parturition. Acta Obstet. Gynecol. Scand. 36 : 42-57, 1957.
- 32) **Weisl, H.** : Movements of sacro-iliac joint. Acta Anat. 23 : 80-91, 1955.
- 33) **Egund, N., Olsson, T. H., Schmid, H. and Sellvik, G.** : Movements in the sacroiliac joints demonstrated with roentgen stereo-photogrammetry. Acta Radiol. 19 : 833-846, 1978.
- 34) **Lavignolle, B., Vital, J. M., Senegas, J., Destandau, J., Toson, B., Bouyx, P., Morlier, P., Delorme, G. and Calabet, A.** : An approach to the functional anatomy of the sacroiliac joints in vivo. Anat. Clin. 5 : 169-176, 1983.
- 35) 姫野信吉, 津村弘, 川井忠彦, 竹内則雄 : 骨盤内の荷重伝達機構について. Hip Joint 9 : 155-158, 1985.
- 36) 久米靖文, 湯浅好平, 佐藤望 : カブス面解析による作業姿勢の膈帯力学的考察. J. Fac. Sci. Engg. Kinki Univ. 34 : 155-161, 1998.