

RUPTURE EN FATIGUE D'UNE CUPULE DE HARRIS-GALANTE AU CONTACT D'UNE AUTOGREFFE DE TÊTE FÉMORALE

Analyse des facteurs osseux, mécaniques, et métallurgiques

H. MIGAUD¹, B. FLAUTRE², A. BEHNAMGHADER³, P. HARDOUIN²,
M. LECOMTE-HOUCKE⁴, A. DUQUENNOY¹

SUMMARY : *Fatigue rupture of a Harris-Galante shell supported by a femoral head autograft.*

We observed, after 38 months of follow-up, the rupture of the metallic shell of a Harris-Galante cup implanted in a dysplastic acetabulum augmented with a femoral head autograft.

Bone ingrowth was extended to 53% of the porous surface, but only in the areas in contact with the true acetabulum. No bone ingrowth was identified in the fiber mesh in contact with the autograft. The graft was necrotic on histologic examination and showed collapse radiographically. These last conditions were responsible for shear stress in the part of the cup that was in contact with the graft-acetabulum junction. These stresses were involved in the fatigue rupture mechanism identified on microscopic examination of rupture surfaces.

We observed metallic structure anomalies in the failed cup by comparing with another Harris-Galante cup considered as a reference : larger α elements, reduction of the titanium equiaxial structure. These defects could be related to uncontrolled temperature during the sintering process utilized for fiber mesh fixation. These structural anomalies, by reducing the metallic fatigue strength, potentiated the deleterious effect of partial bone ingrowth and graft collapse.

Keywords : fatigue rupture ; Harris-Galante shell.

Mots-clés : rupture en fatigue ; cupule de Harris-Galante.

INTRODUCTION

Les ruptures d'implants acétabulaires sont peu fréquentes, qu'il s'agisse de cupules cimentées (Bacciocchi (1)), ou de cupules comportant un «metal-

back» poreux mises en place sans ciment (Cook (3), Gonzalez (4)). En 1994, nous avons publié les résultats de 36 prothèses totales de hanche (PTH) implantées avec une autogreffe massive de reconstruction de l'acétabulum (Pierchon (7)). Parmi les patients de cette série, nous avons observé la rupture d'une cupule de Harris-Galante. Le but de ce travail était de faire état de cette nouvelle complication et de préciser les facteurs ayant contribué à cette rupture prothétique.

PATIENT ET MÉTHODES

1) PATIENT :

Une patiente a bénéficié en Octobre 1991, à l'âge de 45 ans, d'une prothèse totale de hanche en raison d'une coxarthrose sur dysplasie. Son poids était 68 kilogrammes et sa taille 1,60 mètre. Une reconstruction de l'acetabulum a été effectuée au moyen d'une autogreffe de tête fémorale vissée. L'arthroplastie de type hybride comportait : une cupule sans ciment de Harris-Galante de diamètre 50 millimètres (ZimmerTM, Warsaw, Ind.) posée en exact-fit et fixée par 4 vis, et une tige mono-

¹ Service d'Orthopédie-Traumatologie B, Hôpital B, CHRU de Lille, 59037 Lille Cedex, France.

² Institut de Recherche sur les Maladies du Squelette, Institut Calot, 62608 Berck, France.

³ Laboratoire de Matériaux, Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers, 8 Blvd Louis XIV, 59046 Lille, France.

⁴ Laboratoire d'Anatomie et de Cytologie Pathologique, Faculté de médecine de Lille, 1 place de Verdun, 59045 Lille Cedex, France.

Correspondance et tirés à part : H. Migaud.

bloc CDH de Müller cimentée comportant une tête de 22 millimètres (Protek™, Berne, Suisse). La marche avec appui complet était autorisée à la fin du deuxième mois postopératoire. Le score fonctionnel de Merle d'Aubigné était à 15 à 6 mois, puis à 17 au-delà de la première année postopératoire. Les radiographies avant l'intervention et aux reculs de 6 mois et 30 mois figuraient dans notre publication initiale (Figure 6, 7, et 8 in Pierchon (7)). En 1994, le score fonctionnel était inchangé à 17, mais une résorption partielle de la partie latérale de la greffe était observée (Figure 8 in Pierchon (7)). En Décembre 1994 (38 mois après l'implantation), la patiente signalait des douleurs inguinales d'apparition brutale. La rupture de la partie métallique de la cupule était constatée sur les radiographies, elle s'accompagnait d'une résorption partielle de la greffe (fig. 1). En revanche, il n'existait pas de migration de

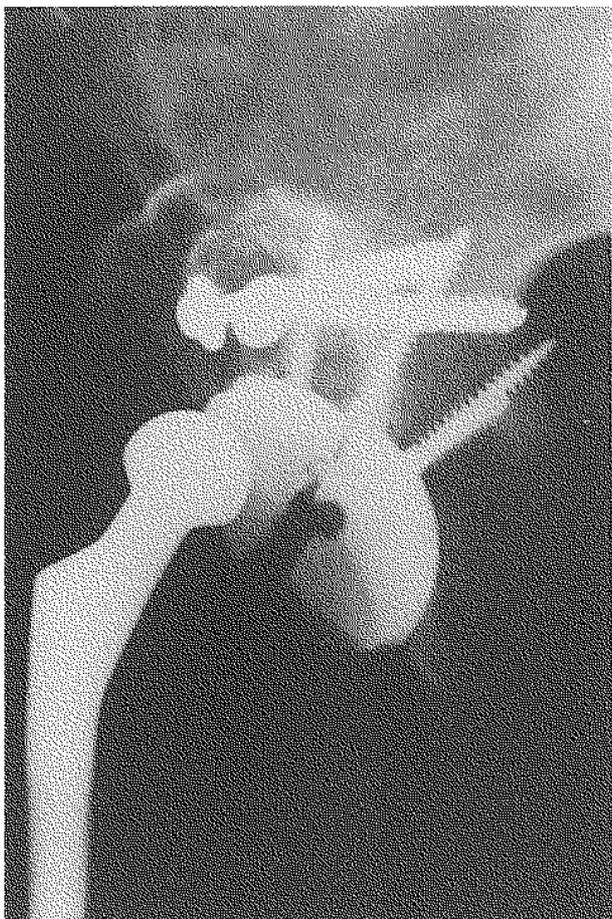


Fig. 1. — Radiographie de trois-quart alaire 38 mois après l'implantation. Il existait une rupture de la cupule métallique. Le tiers médial de la cupule métallique et la tige fémorale ne présentaient aucun signe de descellement.

la tige fémorale ni de modification des interfaces à son contact. Lors de la reprise chirurgicale, une métallose était macroscopiquement constatée, mais l'insert en polyéthylène n'était pas rompu. Le tiers latéral de la cupule métallique rompu et descellé était facilement extrait ; il n'existait aucune repousse ou fixation biologique dans la partie correspondante du treillis de titane (fig. 2). En revanche, la partie médiale de la cupule (2/3 médiaux) était parfaitement fixée à l'acétabulum primitif par une abondante repousse osseuse (fig. 2). Celle-ci imposait d'utiliser des ciseaux à os pour séparer la cupule de l'os acétabulaire. En surface, 40% de la cupule étaient initialement au contact de l'auto-greffe. Il n'existait pas de mobilité macroscopique de la greffe, mais les vis assurant la stabilisation de la greffe ont été resserrées. Une cupule en polyéthylène était cimentée après fraisage de l'acétabulum et mise en place d'un anneau de soutien de Ganz (Protek™, Berne, Suisse). La tête prothétique ne présentait pas d'anomalie, mais pour faciliter la reprise, la tige fémorale a été extraite. En fin d'intervention une nouvelle tige de taille similaire était implantée sans changement du manteau de ciment qui était macroscopiquement intact.

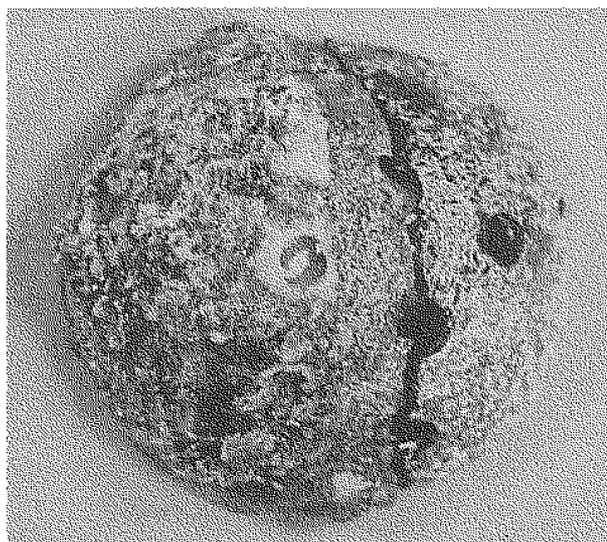


Fig. 2. — Aspect de surface de la cupule après son extraction. La rupture passait par les trous de vis d'un méridien, séparant le tiers latéral des deux tiers médiaux.

2) MÉTHODES

Outre les prélèvements bactériologiques, des prélèvements pour examen anatomo-pathologique ont été effectués sur la capsule articulaire et l'autogreffe de tête

fémorale. La repousse osseuse a été évaluée sur les différents fragments de la cupule au moyen de micro-radiographies et d'une analyse histologique. Une analyse métallurgique était conduite, comparant les caractéristiques de l'implant rompu à celles d'un implant du même type, de même dimension, fourni par le même fabricant. Cette analyse comportait : 1) un examen métallographique en microscopie optique ; 2) une analyse des faciès de rupture en microscopie électronique à balayage ; 3) un examen en microscopie confocale à balayage laser.

RÉSULTATS

Dans la capsule articulaire, nous avons observé une importante réaction histiocytaire mono- et multinucléée contenant des particules de métal, de ciment et de polyéthylène. Le prélèvement de l'autogreffe confirmait le diagnostic de nécrose osseuse sans signe de réhabilitation. Les prélèvements bactériologiques étaient négatifs.

Sur les microradiographies, nous avons observé une abondante repousse osseuse sur la portion médiale de la cupule située en regard de l'acétabulum primitif. En revanche, aucune repousse osseuse n'était observée sur la portion médiale de la cupule au voisinage de la rupture, dans la zone située au contact de la greffe. De même, aucune repousse osseuse n'était observée sur toute la portion latérale rompue. Sur les coupes histologiques nous avons identifié : 1) sur les 8/10 internes de la portion médiale de la cupule, un tissu osseux mature avec peu de remaniements ; 2) sur 2/10 externes de la portion médiale de la cupule une repousse fibreuse (en regard de la greffe de tête fémorale) ; 3) au contact de la portion latérale fracturée un tissu inflammatoire. Au total, 53% de la surface de la cupule étaient occupés par une repousse osseuse.

La structure de la cupule rompue et de la cupule de référence correspondait à du TA6V biphasé ($\alpha + \beta$). Elle comportait une phase β (cubique centrée), stable à haute température, et une phase α (hexagonale compacte) obtenue généralement par transformation allotropique à une température voisine de 975°C. La morphologie de la phase α dans une matrice β dépend du procédé thermique ou thermomécanique utilisé. L'un des prin-

cipaux procédés de fabrication disponible, ayant lieu au dessous de la température de transformation allotropique, stabilise la phase α sous une forme globulaire (phase équiaxe de grand volume). La transformation de la phase α de type lamellaire (plaques de phase α) en une configuration globulaire dépend de la température et du temps de recuit ainsi que de la valeur d'écroûissage imposé.

Le clivage observé sur toute la surface de rupture était caractéristique d'une rupture fragile par fatigue. Macroscopiquement, l'amorçage de cette rupture s'était produit au niveau des trous de vis d'un méridien, tandis que microscopiquement les défauts de contact entre les fibres et le substrat ainsi que les interfaces entre les phases α et β avaient favorisé cet amorçage.

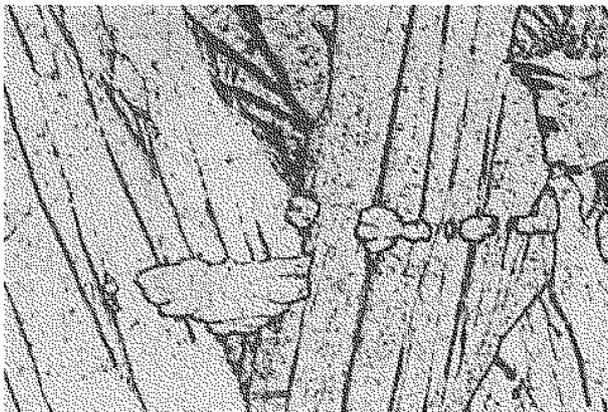
Par rapport à la cupule de référence, la structure de la cupule rompue était plus grossière (fig. 3a et 3b) : 1) les plaques de phase α étaient plus larges et mieux orientées dans la matrice β dans la cupule rompue, certaines plaques α avaient une épaisseur de 120 μ (pour 45 μ en moyenne dans la cupule de référence) et une longueur de 2 millimètres (soit 66% de l'épaisseur du substrat métallique de la cupule) ; 2) un pourcentage plus faible de phase globulaire (phase équiaxe de grand volume) était observé. Ces anomalies structurales, en particulier la grande taille de phase α , favorisaient l'amorçage et la propagation des fissures qui conduisaient à la rupture en fatigue. Ces anomalies nous ont fait évoquer un défaut de procédé de fabrication lors de la fixation des fibres de titane sur le substrat : une température trop élevée ou un traitement de frittage trop lent favorisant le grossissement de la structure qui réduit la résistance en fatigue de l'implant.

DISCUSSION

Nous avons identifié trois facteurs qui ont pu contribuer à la rupture en fatigue de l'implant acétabulaire : 1) l'absence de réhabilitation histologique de la greffe et son collapsus macroscopique ; 2) l'absence de repousse osseuse dans la partie latérale de la cupule en regard de la greffe ; 3) des défauts dans la structure métallique de l'implant fracturé par rapport à une cupule de référence.



a



b

Fig. 3a et 3b. - Figures comparant la structure métallique microscopique des deux cupules (Grossissement $\times 120$). Figure 3a (cupule de référence): les lamelles α (structure de forme allongée) avaient une épaisseur maximale de 70 μ . Figure 3b (cupule rompue): la structure, bien que semblable, était plus grossière comportant des lamelles α dont la taille était très augmentée (jusqu'à 120 μ d'épaisseur et 2 mm de longueur).

Malgré un aspect radiographique satisfaisant à 30 mois, notre greffe s'était effondré à 38 mois et n'avait pas de signe histologique de réhabitation. Ce phénomène avait été incriminé par Mulroy et Harris (6) pour expliquer des descellements acétabulaires au contact de greffes massives (46% de descellements acétabulaires après 12 ans de recul). Ce résultat avait conduit Harris (6, 9) à réduire l'indication de telles greffes, au profit de cupules sans ciment appuyées sur l'os sain en position anatomique ou haute suivant l'état du support

osseux (Schutzer et Harris (9)). Aucune rupture de cupule de Harris-Galante n'a été observée après 6 ans de recul lors d'implantations primaires (Schmalzried (8)), lors de révisions (Tanzer (11)), ou sur des dysplasies acétabulaires (Jasty (5)). Parmi les cupules de Harris-Galante de notre série (Pierchon (7)), nous n'avons pas observé d'autre rupture malgré un volume de greffe et un recul comparables à ceux de la cupule rompue.

La rupture en fatigue d'une cupule de Harris-Galante avait été constatée par Cook (3) après 48 mois d'implantation au contact d'une greffe acétabulaire. Cook (3) avait observé une repousse osseuse sur 5% de la surface du treillis de titane. Dans notre observation, la repousse était étendue sur 53% de la surface du treillis de titane, soit deux fois la surface moyenne observée par Sumner (10) parmi 25 explantations de cupules de Harris-Galante. Si notre taux de repousse était élevé, celle-ci était inégalement répartie, car ne concernant que la portion de cupule située au contact de l'os acétabulaire. Ce défaut de répartition associé à l'absence de réhabitation et au collapsus de la greffe étaient responsables de contraintes en cisaillement dans la zone de la cupule située en regard de la jonction greffe-acétabulum. Contrairement à l'observation de Cook (3), nous avons observé des anomalies de la structure métallurgique de la cupule qui pouvaient s'être constituées lors de l'élaboration du substrat ou de la fixation du treillis de titane. Cook (2) avait démontré que de telles anomalies réduisaient la résistance en fatigue du TA6V de 15%. Il est probable que ces anomalies métallurgiques n'auraient pas conduit à la rupture de la cupule si celle-ci avait été implantée dans un acétabulum non dysplasique. Nous estimons que la conjonction des trois facteurs identifiés dans cette étude, dont les effets se potentialisaient, pouvait être responsable de la rupture de cet implant. L'utilisation de cupules mécaniquement plus résistantes doit être discutée en cas d'implantation au contact d'une greffe massive de l'acétabulum.

RÉFÉRENCES

1. Bacciocchi G. Rupture of the acetabular cup in total arthroprosthesis of the hip. *Ital. J. Orthop. Traumatol.*, 1984, 10, 143-144.

2. Cook S. D., Thongpreda N., Anderson R. C., Haddad R. J. Jr. The effect of post-sintering heat treatments on the fatigue properties of porous-coated Ti-6Al-4V alloy. *J. Biomed. Mater. Res.*, 1988, 22, 287-302.
3. Cook S. D., Thomas K. A. Fatigue failure of noncemented porous-coated implants. *J. Bone Joint Surg.*, 1991, 73-B, 20-24.
4. Gonzalez M. H., Glass R. S., Mallory T. H. Fracture of a metal-backed acetabular component in total hip arthroplasty: a case report. *Clin. Orthop.*, 1988, 232, 156-158.
5. Jasty M., Anderson M. J., Harris W. H. Total hip replacement for developmental dysplasia of the hip. *Clin. Orthop.*, 1995, 311, 40-45.
6. Mulroy R., Harris W. H. Failure of acetabular autogenous bone grafts in total hip arthroplasty. *J. Bone Joint Surg.*, 1990, 72 A, 1536-1540.
7. Pierchon F., Migaud H., Boden B., Pasquier G., Fontaine C., Duquenooy A. Reconstruction de l'acetabulum par autogreffe de tête fémorale au cours des arthroplasties totales de hanche. *Acta Orthop. Belg.*, 1994, 60, 280-289.
8. Schmalzried T. P., Harris W. H. The Harris-Galante Porous-Coated acetabular component with screw fixation. Radiographic analysis of 83 primary hip replacements at a minimum of 5 years. *J. Bone Joint Surg.*, 1992, 74-A, 1130-1139.
9. Schutzer S. F., Harris W. H. High placement of porous-coated acetabular components in complex total hip arthroplasty. *J. Arthroplasty*, 1994, 9, 359-367.
10. Sumner D. R., Jasty M., Jacobs J. J., Urban R. M., Bragdon C. R., Harris W. H., Galante J.O. Histology of porous-coated acetabular components. 25 cementless cups retrieved after arthroplasty. *Acta Orthop. Scand.*, 1993, 64, 619-626.
11. Tanzer M., Drucker D., Jasty M., McDonald M., Harris W.H. Revision of the acetabular component with an uncemented Harris-Galante porous-coated prosthesis. *J. Bone Joint Surg.*, 1992, 74-A, 987-994.

SAMENVATTING

H. MIGAUD, B. FLAUTRE, A. BEHNAMGHADER, P. HARDOUIN, M. LECOMTE-HOUCKE, A. DUQUENNOY. Stressfractuur van een Harris-Galante cup in contact met een autologe femurkopente.

De auteurs rapporteren een geval van ruptuur van een metalen cup van Harris-Galante 38 maanden na een cementloze plaatsing in contact met een autologe geschroefde femurkopente.

Bij 53% van de gevallen was er histologisch een botformatie op het beschikbare oppervlak, wanneer in contact met het oorspronkelijk acetabulum. De afwezig-

heid van botformatie ter hoogte van het contact met de autologe botente en de secundaire collaps hadden abnormale sollicitaties veroorzaakt t.h.v. het gedeelte van de cup gelegen aan de overgang ente-primair acetabulum. De sollicitaties gaven aanleiding tot een microscopisch geïdentificeerde stressfractuur van de metalen cup.

Vergeleken met een referentiecup van hetzelfde type werd op de gefractureerde cup een veel ruwere microstructuur gezien (brede fase alpha lamellen en vermindering van het globulair karakter van de legering). Deze afwijking werd mogelijks veroorzaakt door een defect van de thermo-mechanische controle bij de preparatie van het implantaat. Deze structurele defecten, verantwoordelijk voor een verminderde weerstand bij stress, hebben een onvolledige botformatie en collaps van de botente gepotentialiseerd.

RÉSUMÉ

H. MIGAUD, B. FLAUTRE, A. BEHNAMGHADER, P. HARDOUIN, M. LECOMTE-HOUCKE, A. DUQUENNOY. Rupture en fatigue d'une cupule de Harris-Galante au contact d'une autogreffe de tête fémorale.

Nous avons observé la rupture d'une cupule métallique de Harris-Galante 38 mois après son implantation sans ciment au contact d'une autogreffe de tête fémorale vissée.

Une repousse osseuse était histologiquement observée sur 53% de la surface réhabitable, uniquement au contact de l'acetabulum primitif. L'absence de repousse osseuse au contact de l'autogreffe non-réhabilitée et son collapsus secondaire étaient responsables de contraintes en cisaillement dans la zone de la cupule située en regard de la jonction greffe-acetabulum primitif. Ces contraintes ont contribué à la rupture en fatigue de la cupule métallique identifiée en microscopie sur les faciès de rupture.

Par rapport à une cupule de référence du même type, la pièce rompue présentait une microstructure plus grossière (larges lamelles de phase α et une réduction du caractère globulaire de l'alliage). Un défaut du contrôle thermomécanique lors de l'élaboration de l'implant pouvait être à l'origine de ces anomalies. Ces défauts structuraux, responsables d'une réduction de la résistance en fatigue, ont potentialisé l'effet de la repousse osseuse incomplète et du collapsus de la greffe.