

---

Klinika Torakochirurgiczna. Instytut Chirurgii. Akademia Medyczna w Lublinie  
Kierownik: prof. dr hab. n. med. Zbigniew Papliński

Alicja SAWA, Grażyna KOWALCZYK,  
Andrzej WRONA

**Cicatrisation de la plaie circulaire de la trachée. Partie II.  
Force de rupture (FR)**

Gojenie się okrężnej rany tchawicy. Część II. Wytrzymałość mechaniczna (WM)

Заживление круговой раны трахеи. Часть II. Механическая прочность

La force de rupture de la plaie dans de différentes périodes de sa cicatrisation est un corollaire important de la durée de formation de la cicatrice et de sa durabilité (2, 3, 6, 7, 16, 20). Ce rapport de la force de rupture et de la surface de coupe exprime une résistance à la rupture ou une force de tension de la plaie ou du tissu (8, 9, 13, 18) et se mesure en grammes par unité de surface (g par mm<sup>2</sup>), (11).

Toutes les recherches sur la force de rupture (FR) sont menées, par nécessité, avec des animaux d'expérience; et leurs résultats dépendent, dans une certaine mesure, des espèces examinées (14). Toutefois, les mécanismes de cicatrisation se rapprochent les uns des autres et les différences entre les évolutions du métabolisme pour les espèces examinées ne peuvent être considérées que grâce à la connaissance des divergences entre ces espèces-là (19).

Les différences de la FR entre différents tissus des mêmes individus apparaissent également (1, 6, 17). Les tissus ayant le taux de collagène élevé manifestent la résistance la plus grande à la rupture, p.ex. le tendon (8, 20).

Dans la première partie de notre ouvrage (15) nous avons observé un accroissement net des formes initiales du collagène (CS) à partir des 5<sup>e</sup>—6<sup>e</sup> jours, après avoir fait une plaie circulaire dans la trachée, sans noter les variations considérables de la teneur en collagène mûr (CN). Ce n'est que dès la 7<sup>e</sup> journée que le taux du collagène non soluble (CN) subit une augmentation très rapide tandis que la teneur en collagène soluble (CS) monte simultanément. À ce moment-là, commence la période de cicatrisation particulièrement active.

Après 14 jours, la teneur en CN reste encore élevée bien que le taux du CS retombe considérablement vu la formation de la cicatrice trachéale qui désormais subit des changements consécutifs, mûrit et se contracte.

L'évolution de la cicatrisation trachéale, établie en fonction du taux de collagène dans la plaie, avait démontré que dès le 7<sup>e</sup> jour, la teneur en CN était si con-

sidérable, qu'elle devait assurer une bonne résistance de la cicatrice qui était entièrement formée le 14<sup>e</sup> jour. Nous nous étions proposés de vérifier ces estimations en examinant la force de rupture (FR) de la plaie (cicatrice) circulaire de la trachée.

### MATÉRIEL ET TECHNIQUE

Nos expériences étaient effectuées sur les rats Wistar provenant du même élevage. Ils pesaient de 200 à 350 g.

La technique opératoire est décrite dans la première partie (15). La force de rupture était examinée les 3<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup>, 7<sup>e</sup>, 10<sup>e</sup>, 14<sup>e</sup>, 21<sup>e</sup>, 30<sup>e</sup>, 60<sup>e</sup> et 90<sup>e</sup> jours qui suivaient l'intervention, donc dans le temps où les recherches sur le taux de collagène et celui d'eau étaient faites.

La trachée était sortie toute entière dans l'anesthésie générale des animaux opérés. Les 3<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup>, 7<sup>e</sup> et 10<sup>e</sup> jours de la période post-opératoire, avant de procéder à l'évaluation de la FR, le fil de suture était enlevé de la plaie trachéale. Après le 10<sup>e</sup> jour il n'était plus possible d'éliminer le fil en raison du tissu conjonctif recouvrant la suture, et tout essai de le récupérer risquait de porter atteinte à la cicatrice trachéale et de réduire ainsi sa FR. La trachée était lavée dans une solution de sel (0,9%) pour déterminer ensuite son diamètre à l'aide d'un tube calibré au dixième de mm.

La FR était examinée immédiatement après le prélèvement de la trachée sans l'avoir maintenue ni conservée.

La FR était mesurée avec un contrôleur universel de la résistance à la rupture, type TT-OM, production de INSTROM. Cet appareil permettait d'appliquer la force de traction de 1000 g et le réglage automatique de la vitesse d'écartement des mâchoires à 5 mm/sec., tout essai étant automatiquement inscrit sur papier roulant. Afin de prévenir le brisement du tissu au lieu de sa prise et d'assurer la même force de traction sur toute la circonférence trachéale, les mâchoires de l'appareil étaient munies de goupilles spéciales que l'on introduisait dans la lumière trachéale.

Vingt trachées saines, prélevées sur les animaux non-opérés, constituaient un groupe de contrôle. La force de rupture de la trachée dans son segment correspondant à celui réséqué et anastomosé était aussi évaluée. Tous les résultats ont été soumis à l'analyse statistique.

Avant de passer à leur analyse, nous avons vérifié une corrélation entre la FR, le poids de l'animal, et le diamètre de sa trachée. Nous avons constaté que pour 167 animaux, la FR n'était fonction ni du poids ni du diamètre trachéal. Cela nous amène à ne pas mentionner ces valeurs-là dans notre étude ultérieure.

### RÉSULTATS

La force de rupture de la trachée saine oscillait entre 460 et 745 g et était approximativement de 543,3 g ( $\pm 16,81$ ).

Les recherches sur la FR de la plaie circulaire de la trachée pendant les 3, 5 et 7 jours après l'intervention expérimentale ont démontré que, seule, la cicatrice se rompait dans tous les cas, tandis que lors des 10<sup>e</sup>,

14<sup>e</sup> et 21<sup>e</sup> jours c'était une cicatrice ou une paroi trachéale qui subissait la rupture presque avec la même fréquence. Le 30<sup>e</sup> jour, ce fait a été observé dans une cicatrice sur 16 examinées, par opposition aux autres où la paroi trachéale s'était rompue.

Au cours des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> mois qui suivaient l'opération ce n'était que la paroi trachéale qui se brisait.

Les chiffres relatifs au lieu de rupture, en fonction du temps qui s'était écoulé dès l'intervention, sont donnés dans le tableau 1.

La FR était établie en grammes et en % par rapport à la FR moyenne de la trachée saine. Ces chiffres sont représentés dans le tableau 2.

Ces chiffres nous montrent que seulement pendant les 3<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup> et 7<sup>e</sup> jours la résistance mécanique était inférieure à la force de rupture de la trachée saine et remontait respectivement à 13,7%, 42,5% et 69,7% de sa valeur totale. Cependant un accroissement très rapide de cette force se manifeste, de 74,7 g le 3<sup>e</sup> jour, à 378,5 g le 7<sup>e</sup> jour après l'opération. Après 7 jours la FR de la cicatrice a rejoint celle de la trachée saine.

À partir de la 10<sup>e</sup> journée post-opératoire nous voyons la paroi trachéale se rompre de plus en plus souvent au lieu de la cicatrice ce qui devient normal au cours des 2 et 3 mois. Les limites de rupture sont toujours un peu plus supérieures à la FR du groupe de contrôle et ne sont considérablement supérieures que pendant la 30<sup>e</sup> journée après l'intervention. Pendant cette période, non seulement la cicatrice mais aussi toute la paroi trachéale du rat opéré demeure plus résistible à la rupture que la trachée saine.

Tableau 1. Lieu de rupture (en %)

Lieu de rupture	Nombre des journées post-opératoires								
	3	5	7	10	14	21	30	60	90
Cicatrice	100	100	100	50	56	44	6	0	0
Paroi trachéale	0	0	0	50	44	56	94	100	100

## DISCUSSION

Pour le chirurgien, la résistance de la cicatrice est sans aucun doute la qualité la plus importante qui s'exprime le plus simplement possible par une force de rupture de la plaie. L'évaluation d'une telle valeur au cours de différentes étapes de la cicatrisation de la plaie permet de trouver le moment où il faudrait y appliquer une grande force, avoisinant celle de rupture du tissu sain, non opéré. Beaucoup de chercheurs ont

Tableau 2. Force de rupture (FR)

Nombre de jours post-opératoires	Nombre d'animaux	Rupture de la cicatrice				
		% du groupe	FR (g)			% par rapport au G.C.
			de	à	moyenne $\pm$ SE	
G.C.	20	—	—	—	—	—
3	13	100	28	120	74,7 $\pm$ 8,29	13,74
5	16	100	132	306	230,9 $\pm$ 12,87	42,49
7	20	100	252	604	378,5 $\pm$ 25,33	69,66
10	18	50	368	600	484,0 $\pm$ 27,92	89,08
14	18	56	455	775	604,4 $\pm$ 34,77	111,24
21	16	44	486	865	623,0 $\pm$ 48,84	114,66
30	16	6*	—	—	—	—
60	15	—	—	—	—	—
90	15	—	—	—	—	—

G.C. — groupe de contrôle, v.n. — valeurs non-marquées.

\* 1 animal.

néanmoins souligné que la FR de la cicatrice était toujours inférieure à la résistance du tissu non-opéré (4, 10, 19).

Les méthodes variées, employées à établir la résistance de la plaie, ne permettent pas toujours la comparaison directe des valeurs absolues des forces de sa rupture (19). Dans toutes les recherches les courbes sont pareilles, les écarts résultent avant tout des différences des espèces.

Il est surprenant de voir que la collagénèse ainsi que la résistance mécanique de la plaie trachéale n'aient pas été examinées, et plus particulièrement le cas de sa limite de rupture pendant les phases respectives de la cicatrisation trachéale.

L'intérêt porté par les chirurgiens sur la résistance de la plaie circulaire de la trachée était infime et cette valeur ne se définissait que par l'établissement de la tension intratrachéale (5). Cependant la connaissance de ces problèmes qui marquent le mécanisme même de la cicatrisation trachéale, a un sens pratique. Ceci permet de préciser le moment où l'on peut cesser de garder le malade la nuque courbée, pour l'auto-riser ensuite à remuer librement la partie cervicale, et où la bronchoscopie est entièrement sûre.

La comparaison des résultats des recherches sur la FR de la plaie circulaire de la trachée avec ceux du métabolisme du collagène, publiés dans la première partie du présent ouvrage, nous permet de mieux saisir l'évolution de la cicatrisation de la plaie trachéale.

L'observation que la FR de la cicatrice trachéale égale celle de la trachée saine entre la 7<sup>e</sup> et la 10<sup>e</sup> journée post-opératoire pour s'élever après au-dessus de la valeur normale, demeure l'un de nos résultats de base, sinon le plus important. Autrement dit, après la 7<sup>e</sup> journée de

de la cicatrice ou paroi trachéale

Valeurs marquées (P)	% du groupe	Rupture de la paroi trachéale			% par rapport au G.C.	Valeurs marquées (P)
		FR (g)				
		de	à	moyenne $\pm$ SE		
—	100	460	745	543,3 $\pm$ 16,81	—	—
<0,0001	—	—	—	—	—	—
<0,001	—	—	—	—	—	—
<0,001	—	—	—	—	—	—
v.n.	50	544	820	598,8 $\pm$ 33,14	110,21	v.n.
v.n.	44	440	620	545,12 $\pm$ 22,08	100,33	v.n.
v.n.	56	370	790	563,0 $\pm$ 40,15	103,62	v.n.
—	94	442	906	683,6 $\pm$ 32,71	125,82	<0,01
—	100	543	695	565,3 $\pm$ 18,29	104,04	v.n.
—	100	502	772	583,3 $\pm$ 19,45	107,36	v.n.

la suite opératoire la force de rupture de la cicatrice correspond déjà à la FR de la trachée saine, et la dépasse à partir du 14<sup>e</sup> jour. Or, cette constatation-ci constitue une indication fondamentale pour le chirurgien.

Le 3<sup>e</sup> jour l'accroissement de la FR s'accompagne de l'accroissement du taux du CS, malgré la teneur en CN un peu plus basse et le niveau élevé du rapport collagène soluble/collagène total. C'est donc la période de formation du tropocollagène et de polymérisation des formes pré-alables du collagène dans les cellules. À ce temps-là nous ne notons pas encore l'augmentation de la teneur en collagène insoluble, et cette limite de rupture est probablement imputable au taux du CS plus élevé qui peut-être devient, à côté de la substance basale, une soudure importante de la plaie trachéale.

Dès le 7<sup>e</sup> jour, on observe un accroissement très rapide de la teneur en CN bien que la cicatrice soit encore plus faible que la paroi trachéale, dans tous les cas. Tout examen ultérieur démontre une très grande résistance mécanique de la plaie, et après le 30<sup>e</sup> jour il n'était pas toujours possible de la rompre. Pendant cette période, le taux du CN reste élevé et le taux du CS commence à baisser — la cicatrice se contracte et devient plus dure.

Il y a trois indices de l'évolution du collagène qui laissent leur empreinte sur la résistance de la cicatrice trachéale. Le premier — l'augmentation très rapide de la teneur en CN qui commence le 7<sup>e</sup> jour, car ensuite la cicatrice montre la même résistance que la paroi trachéale. Le deuxième — le retour du pourcentage du CS, établi par rapport au collagène total (CT), à sa valeur normale qui s'annonce après le 10<sup>e</sup> jour où, pour la briser, il faut appliquer une force pareille à celle qui rompt

la trachée saine. Le troisième — la baisse du rapport CS/CT au dessous de la valeur normale déterminée pour le groupe zéro que nous notons au cours de la cicatrisation.

Ce taux du CS, nettement abaissé, ainsi que les transformations intérieures des trames de collagène rendent la cicatrice très dure qui, dans la trachée, demeure toujours plus résistible que la paroi trachéale après la 30<sup>e</sup> journée post-opératoire, ce qui témoigne de la spécificité de la trachée par rapport à d'autres tissus dont la cicatrice n'atteint jamais la durabilité du tissu sain.

À en juger par les observations faites jusqu'à l'heure actuelle, nous pouvons dire que les évolutions de la paroi trachéale qui suivent sa dissection-anastomose ne se bornent pas seulement à la région avoisinant la cicatrice, mais sont aussi valables pour toute la trachée. Nous ne pouvons en aucune façon expliquer l'origine de ce phénomène, étant donné l'état actuel des recherches entreprises par de nombreux chirurgiens. Il se peut que ce soit imputable à la spécificité de la trachée (anneaux cartilagineux, espaces intercartilagineux et membrane du tissu conjonctif), mais on ne peut le conclure sans avoir fait des recherches au sujet de l'influence de la mobilisation même sur la paroi trachéale.

Il semble que les changements de tension de la plaie, dûs aux mouvements physiologiques de la trachée, ne puissent non plus rester sans importance. Thorngate et Ferguson (16), en examinant l'influence de la tension des sutures sur la résistance mécanique de la plaie des fascias, avaient démontré qu'elle était très nette et que ce mouvement-là dans la troisième phase accélérât la cicatrisation des plaies.

#### RÉFÉRENCES

1. Adamsons R., Kahan A.: The Rate of Healing of Incisional Wounds of Different Tissues in Rabbits. *Surg. Gynec. Obst.* **130**, 837, 1970.
2. Brunius U.: Wound Healing Impairment from Sutures. A Tensiometric and Histological Study in the Rat. *Elanders Botryckeri Aktiebolag, Goteborg (Sweden)* 1968.
3. Dmochowski J.: Wytrzymałość mechaniczna ran chirurgicznych w przebiegu żółciowego zapalenia otrzewnej i żółtaczkii zastoinowej. *Ann. Acad. Med. Lodzensis* **5**, 107, 1964.
4. Dunphy J. E., Jackson D. S.: Practical Applications of Experimental Studies in the Care of the Primarily Closed Wound. *Am. J.* **104**, 273, 1962.
5. Ferguson D. J., Wild J. J., Wangenstein O. H.: Experimental Resection of the Thoracic Trachea. *Surgery* **28**, 597, 1950.
6. Howes E. J., Sooy C., Harvey S. C.: The Healing of Wounds as Determined by Their Tensile Strength. *A.J.A.M.A.* **92**, 42, 1929.
7. Hunt T. K.: Standards for Wound Healing Research. *Surgery*, **73**, 153, 1973.

8. Illingworth C. (Ed.): Wound Healing. A Symposium Based upon the Lister Centenary Scientific Meeting in Glasgow, September 1965. Churchill, London 1966.
9. Levenson S. et coll.: Some Studies of Wound Healing. *J. Trauma* **4**, 543, 1964.
10. Levenson S. et coll.: The Healing of Rat Skin Wounds. *A. Surg.* **161**, 293, 1965.
11. Majewski W., Tukałło K.: Ocena kliniczna i histologiczna siły wzrostu niepowikłanej rany chirurgicznej. *Pol. Przegl. Chir.* **43**, 875, 1971.
12. Milch R. A.: Tensile Strength of Surgical Wound. *J. Surg. Res.* **5**, 277, 1965.
13. Ordman L., Gillman T.: Studies in the Healing of Cutaneous Wounds. III. A Critical Comparison in the Pig of the Healing of Surgical Incisions Dosed with Sutures or Adhesive Tape Based on Tensile Strength and Clinical and Histological Criteria. *Arch. Surg.* **93**, 911, 1966.
14. Sandberg N.: Experimental Studies on Wound Healing. Thesis, Lund (Sweden) 1963.
15. Sawa A. et coll.: Cicatrisation de la plaie circulaire de la trachée. I. Teneur en collagène et en eau. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Lublin, Sectio D* **37**, 1982.
16. Thorngate S., Ferguson O. J.: Effect of Tension on Healing of Aponeurotic Wounds. *Surgery* **44**, 619, 1958.
17. Tukałło K.: Wytrzymałość rany na rozciąganie w warunkach gojenia doraźnego i opóźnionego. *Pol. Przegl. Chir.* **45**, 565, 1973.
18. Tukałło K., Majewski W.: Badania siły wzrostu powięzi i mięśnia w wczesnym okresie doraźnego gojenia rany. *Pol. Przegl. Chir.* **43**, 875, 1971.
19. Van Winkle W.: The Tensile Strength of Wounds and Factors that Influence It. *Surg. Gynec. Obst.* **129**, 819, 1969.
20. Viljanto J.: Biochemical Basis of Tensile Strength in Wound Healing. *Acta Chir. Scand. Suppl.* **333**, 1964.

Otrzymano 31 XI 1981.

#### STRESZCZENIE

Badania przeprowadzono na 167 szczurach szczepu Wistar. Wytrzymałość mechaniczną blizny tchawicy badano po 3, 5, 7, 10, 14, 21, 30, 60, 90 dniach od operacji. Grupę kontrolną stanowiły tchawice pobrane od zwierząt nie operowanych. Stwierdzono, że między 7 i 10 dniem pooperacyjnym wytrzymałość mechaniczna (blizny) zbliża się do wytrzymałości zdrowej tchawicy. Po 3 dniach od operacji wynosi ona 13,7% siły potrzebnej dla zerwania zdrowej tchawicy, ale już 7 dnia wzrasta do 69,7%. Już w 10 dniu pooperacyjnym ulegała przerwaniu z równą prawie częstotliwością albo blizną, albo ścianą tchawicy. Na 16 badań 30 dnia tylko raz zerwano bliznę, w pozostałych przypadkach zerwaniu ulegała ścianą tchawicy poza blizną.

Wyniki badań nad wytrzymałością mechaniczną okrężnej blizny tchawicy są zgodne z wynikami badań nad zawartością kolagenu i wody w ranie pooperacyjnej. Od 7 dnia obserwujemy gwałtowny wzrost ilości kolagenu nierozpuszczalnego i choć tego dnia blizna jest jeszcze słabsza niż ścianą tchawicy, to już każde następne badanie wykazuje bardzo wysoką wytrzymałość blizny, a po 30 dniach w każdym przypadku nie udało się zerwać blizny.

## РЕЗЮМЕ

Исследования велись на 167 крысах штамма „Вистар”. Механическую прочность рубца трахеи исследовано на 3, 5, 7, 10, 14, 21, 30, 60 и 90 день после операции. Контрольную группу составили трахеи, взятые от неоперированных животных. Определено, что между 7 и 10 днем после операции механическая прочность рубца является сближенной к прочности здоровой трахеи. На 3 день после операции она равнялась 13,7%, т.е. той силе, которую нужно израсходовать, чтобы сорвать здоровую трахею. На 7 день после операции она равнялась 69,7%. На 10 день после операции с одинаковой частотой наступило сорвание рубца или стенки трахеи. На 30 день в 16 опытах выступило одно сорвание рубца, в остальных случаях сорвание стенки трахеи.

Результаты исследований механической прочности кругового рубца трахеи отвечают результатам исследования содержания коллагена и воды в послеоперационной ране. С 7 дня после операции начинается четкое увеличение количества нерастворимого коллагена и в этот день рубец слабее стенки трахеи, но каждое следующее исследование обнаруживает высокую прочность рубца, а на 30 день не удалось сорвать рубец.