

Régulation thermique du testicule

B.P. SETCHELL, R. MIEUSSET *

Department of Animal Science, University of Adelaide (Waite), 5064, Australia, et

** Centre de Stérilité Masculine, Hôpital de la Grave, 31052 Toulouse, France.*

RESUME

Il apparaît qu'une nécessité a évolué chez de nombreux mammifères pour que les testicules soient maintenus à une température plus basse que celle des organes abdominaux. Un certain nombre de structures anatomiques spécialisées sont impliquées dans ce processus, et il est évident que le testicule est sensible à l'élévation de température.

Mots-clés : *Température - Testicule - Régulation - Spermatogenèse - Développement embryonnaire - Fertilité.*

TEMPERATURE DU TESTICULE

Il existe maintenant de nombreuses données indiquant que chez de nombreuses espèces de mammifères - incluant l'homme - les testicules scrotaux sont indiscutablement plus froids que la cavité abdominale. La valeur de la différence thermique entre testicule et cavité abdominale est fonction de l'espèce, les animaux à scrotum pendant - comme le bélier - ayant un gradient plus important. Cette différence de température se modifie lors de la croissance d'un individu, passant de $\approx 1^{\circ}\text{C}$ à 20 jours à $3,5^{\circ}\text{C}$ à 35 jours (puberté) chez le rat [11]. Chez l'homme, un gradient thermique existe aussi avant la puberté [13], et les températures testiculaires varient de 30°C à $35,5^{\circ}\text{C}$ chez l'adulte avec une différence

moyenne rectum-testis de $4,5^{\circ}\text{C}$ [10]. Pour des raisons faciles à comprendre, on mesure plutôt la température scrotale que la température testiculaire chez l'homme. Cette température n'est pas constante, mais en fonction de la position, de l'habillement, de l'activité [2, 37]. Bien que la température scrotale soit habituellement plus basse que la température du corps chez les mammifères, elle peut augmenter en fonction de la température de l'environnement [26] pour atteindre, voire dépasser, la température corporelle.

Chez les mammifères à testicules abdominaux ou inguinaux, les données rapportées jusqu'alors semblaient indiquer l'existence d'une très faible différence de température ($\approx 1,5^{\circ}\text{C}$) entre le testicule et les autres organes de la cavité abdominale [23]. Cette notion est toutefois remise en question actuellement à la lumière de travaux récents chez le dauphin [19] et le phoque [20].

MÉCANISMES DE REFROIDISSEMENT DU TESTICULE.

Chez les mammifères euthériens à testicules scrotaux, le sang veineux testiculaire circule à la surface du testicule, perd de la chaleur à travers la peau scrotale, et sa température s'équilibre avec celle du tissu sous-cutané. Dans le cordon spermatique se produit un transfert de chaleur du sang artériel au sang veineux dans le système

constitué par une artère spermatique unique et tortueuse cheminant au contact intime des multiples veines du plexus pampiniforme [4, 32]. La clé de la réduction de la température testiculaire est donc la peau scrotale, riche en glandes sudoripares apocrines chez l'animal [34], mais aussi le dartos, muscle lisse inséré dans la peau scrotale de telle sorte que sa contraction/relaxation module le plissement de la peau scrotale et ainsi la surface d'échanges scrotum/environnement [7, 27]. La peau scrotale est riche en récepteurs thermiques, dont les projections atteignent les centres nerveux supérieurs ; les informations données par ces récepteurs auront des effets locaux mais aussi généraux [31].

EFFETS DE L'ELEVATION DE LA TEMPERATURE TESTICULAIRE

De nombreuses techniques ont été utilisées pour élever la température testiculaire qui mettent en jeu des conditions expérimentales fort variées. Les principaux effets d'une élévation de la température des testicules concernent les taux d'hormones, la spermatogenèse, la fécondation et le développement embryonnaire [23].

TAUX D'HORMONES ET COMPORTEMENT

De nombreux articles font état de modifications des taux d'hormones pendant la période où la spermatogenèse est arrêtée après élévation de la température des testicules [8], mais peu d'études ont été consacrées aux effets directs de la température. Les résultats de ces études sont contradictoires en ce qui concerne les enzymes de la stéroïdogénèse, altérés pour certains [18], non ou partiellement affectés pour d'autres [36]. Il en est de même pour la testostérone [12, 29], et l'activité sexuelle des animaux [21, 28].

SPERMATOGENESE

Les effets délétères de la chaleur sur la production de spermatozoïdes ont été démontrés chez de nombreuses espèces mammifères, soit par l'examen histologique des testicules [17], soit par la numération de spermatozoïdes éjaculés ou prélevés au niveau du rete testis [25]. La mobilité et la morphologie des spermatozoïdes sont aussi modifiées négativement, que ce soit chez l'animal [15, 33] ou chez l'homme [14].

ANOMALIES CHROMOSOMIQUES

Des souris soumises à une température environnementale élevée à 35°C ont un taux augmenté de dissociation du divalent X-Y pendant la prophase méiotique de la spermatogenèse [9, 35]. Ceci fut récemment confirmé chez la souris et le rat [30].

FECONDATION

Les effets d'une élévation de la température sur la capacité des spermatozoïdes à féconder semblent différer selon les auteurs, c'est-à-dire selon les conditions expérimentales de chauffage des animaux et selon les techniques d'évaluation de la fécondance (in vitro ou in vivo). C'est ainsi qu'un chauffage intense et bref chez le rat réduit le pourcentage d'œufs fécondés, malgré un nombre équivalent de spermatozoïdes mobiles dans l'utérus [24], alors qu'un chauffage de faible intensité et intermittent chez le bélier est sans effet sur le nombre de brebis pleines [16] mais est associé à un taux de fécondation réduit in vitro [5, 6].

DEVELOPPEMENT ET SURVIE EMBRYONNAIRES

L'élévation de la température testiculaire, qu'elle soit obtenue par élévation de la température ambiante ou par chauffage scrotal, induit une perturbation du développe-

ment de l'embryon, que ce soit chez la souris [1, 3], le rat [38] ou le bélier [16]. Les embryons produits par fécondation *in vitro* avec des spermatozoïdes de bélier soumis à un chauffage scrotal intermittent ont un plus fort taux de dégénérescence au stade blastocyste [5] et un léger, mais significatif, retard de développement du stade 2 cellules au stade 4, 8 et 16 cellules, et du stade morula au stade blastocyste [6, 22].

REFERENCES

1. BELLVÉ A.R. : Development of mouse embryos with abnormalities induced by parental heat stress. *J. Reprod., Fert.* 1973, 35 : 393-403.
2. BRINDLEY G.S. : Deep scrotal temperature and the effect on it of clothing, air temperature, activity, posture and paraplegia. *Brit. J. Urol.*, 1982, 54 : 49-55.
3. BURFENING P.J., ELLIOTT D.S., EISEN E.J., ULBERG L.C. : Survival of embryos resulting from spermatozoa produced by mice exposed to elevated ambient temperature. *J. Anim. Sci.*, 1970, 30 : 578-582.
4. DAHL E.V., HERRICK J.F. : A vascular mechanism for maintaining testicular temperature by counter-current exchange. *Surg. Gynecol. Obstet.*, 1959, 108 : 697-705.
5. EKPE G., SEAMARK R.F., SOWERBUTTS S.F., SETCHELL B.P. : Effect of intermittent scrotal insulation on fertilising ability of ram spermatozoa and the development of the embryos to blastocysts *in vitro*. *Proc. Austr. Soc. Reprod. Biol.*, 1992, 24 : 51.
6. EKPE G., ZUPP J.L., SEAMARK R.F., SETCHELL B.P. : Fertilising ability of spermatozoa from rams subjected to intermittent scrotal insulation and development of the resultant embryos *in vitro*. *Proc. Austr. Soc. Reprod. Biol.*, 1993, 25 : 88.
7. FOWLER D.G. : The relationship between air temperature, scrotal surface area and testis temperature in rams. *Aust. J. exp. Agric. Anim. Husb.*, 1969, 9 : 258-261.
8. GALIL K.A.A., SETCHELL B.P. : Effects of local heating of the testis on the concentration in jugular and testicular venous blood of rats and on testosterone production *in vitro*. *Int. J. Androl.*, 1987, 11 : 61-72.
9. GARRIOT M.L., CHRISMAN C.L. : Hyperthermia induced dissociation of the X-Y bivalent in mice. *Environ. Mutagen.*, 1980, 2 : 465-471.
10. KITAYAMA T. : Study on testicular temperature in man. *Acta Urol. Jpn.*, 1965, 11 : 435-437.
11. KORMANO M. : Development of the rectum-testis temperature difference in the post-natal rat. *J. Reprod. Fert.*, 1967, 14 : 427-437.
12. LARSSON K., EINARSSON S., LUNDSTROM K., HAKKARINEN J. : Endocrine effects of heat stress in boars. *Acta vet. Scand.*, 1983, 24 : 305-314.
13. MIEUSSET R., FOUADA P.J., VAYSSE Ph., GUI-TARD J., MOSCOVICI J., JUSKIEWENSKI S. : Increase in testicular temperature in case of cryptorchidism in boys. *Fertil. Steril.*, 1993, 59 : 1319-1321.
14. MIEUSSET R., GRANDJEAN H., MANSAT A., PONTONNIER F. : Inhibiting effect of artificial cryptorchidism on spermatogenesis. *Fertil. Steril.*, 1985, 43 : 589-594.
15. MIEUSSET R., QUINTANA-CASARES P., SANCHEZ-PARTIDA L.G., SOWERBUTTS S.F., ZUPP J.L., SETCHELL B.P. : The effects of moderate heating of the testes and epididymides of rams by scrotal insulation on body temperature, respiratory rate, spermatozoa output and motility, and on fertility and embryonic survival in ewes inseminated with frozen semen. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1991, 637 : 445-458.
16. MIEUSSET R., QUINTANA-CASARES P., SANCHEZ-PARTIDA L.G., SOWERBUTTS S.F., ZUPP J.L., SETCHELL B.P. : Effects of heating the testes and epididymides of rams by scrotal insulation on fertility and embryonic mortality in ewes inseminated with frozen semen. *J. Reprod. Fert.*, 1992, 94 : 4345-4352.
17. MOORE C.R. : Properties of the gonads as controllers of somatic and psychical characteristics. *Am. J. Anat.*, 1924, 34 : 337-358.
18. MUNABI A.K., CASSORLE F.G., D'AGATA R., ALBERTSON B., LORIAUX D.L., LIPSETT M.B. : The effects of temperature on the activity of testicular steroidogenic enzymes. *Steroids*, 1984, 42 : 325-331.
19. ROMMEL S.A., PABST D.A., McLELLAN W.A., MEAD J.G., POTTER C.W. : Anatomical evidence for a countercurrent heat exchanger associated with dolphin testes. *Anat. Rec.*, 1992, 232 : 150-156.
20. ROMMEL S.A., EARLY G.A., MATASSA K.A., PABST D.A., McLELLAN W.A. : Venous structures associated with thermoregulation of phocid seal reproductive organs. *Anat. Rec.*, 1995, 243 : 390-402.
21. SETCHELL B.P. : *The mammalian testis*. Elek Books, London, 1978, 450 p.

22. SETCHELL B.P. : Possible physiological bases for contraceptive techniques in the male. *Human Reprod.*, 1994, 9 : 1081-1087.
23. SETCHELL B.P., MIEUSSET R. : Testis thermoregulation. In Hamamah S., Mieusset R. eds. *Male gametes: production and quality*. Paris, Inserm, 1996, in press.
24. SETCHELL B.P., D'OCCHIO M.J., HALL M.J., LAURIE M.S., TUCKER M.J., ZUPP J.L. : Is embryonic mortality increased in normal females mated to subfertile males? *J. Reprod. Fert.*, 1988, 82 : 567-574.
25. SETCHELL B.P., VOGLMAYR J.K., HINKS N. : The effect of local heating on the flow and composition of rete testis fluid in conscious ram. *J. Reprod. Fert.*, 1971, 24 : 81-89.
26. SETCHELL B.P., ZUPP J.L., EKPE G., MADDOCKS S., GRIGG G. : The effect of environmental temperature on scrotal temperature in rams at pasture, recorded by telemetry. *Proc. Austr. Soc. Reprod. Biol.*, 1994, 26 : 87.
27. SHAFICK A. : The dartos muscle. A study of its surgical anatomy and role in varicoceles: a new concept of its thermoregulatory function. *Invest. Urol.*, 1973, 2 : 98-100.
28. SOD MORIAH U.A., GOLBERG G.M., BEDRACK E. : Intrascrotal temperature, testicular histology and fertility of heat acclimatized rats. *J. Reprod. Fert.*, 1974, 37 : 263-268.
29. STONE B.A., SEAMARK R.F. : Effects of acute and chronic testicular hyperthermia on levels of testosterone and corticosteroids in plasma of boars. *Anim. Reprod. Sci.*, 1984, 7 : 391-403.
30. VAN ZELST S., ZUPP J.L., HAYMAN D.L., SETCHELL B.P. : X-Y dissociation during meiosis in males induced by heat. *Proc. Aust. Soc. Reprod. Biol.*, 1992, 24 : 88.
31. WAITES G.M.H. : Thermoregulation of the scrotum and testis: studies in animals and significance for man. In Zоргniotti A.W. ed. *Temperature and environmental effects on the testis*. New York, Plenum Press, 1991 : 1-8
32. WAITES G.M.H., MOULE G.R. : Relation of vascular heat exchange to temperature regulation in the testis of the ram. *J. Reprod. Fert.*, 1961, 2 : 213-224.
33. WAITES G.M.H., SETCHELL B.P. : Physiology of the mammalian testis. In : Lamming G.E. ed. *Marshall's Physiology of Reproduction*. Fourth Edition. London, Churchill Livingstone, 1990, vol 2 : 1-105.
34. WAITES G.M.H., VOGLMAYR J.K. : The functional activity and control of the apocrine sweat glands of the scrotum of the ram. *Aust. J. agric. Res.*, 1963, 14 : 839-851.
35. WALDBIESER G.C., CHRISMAN C.L. : X-Y univalency in the testes of hyperthermic mice. I Concomitant formation of multinucleated giant cells. *Gam. Res.*, 1986, 15 : 153-160.
36. WISNER J.R., GOMES W.R. : Influence of incubation temperature on activity of cholesterol side-chain cleavage enzyme and Δ -3 β -hydroxysteroid dehydrogenase in rat testis. *J. Endocr.*, 1975, 65 : 143-144.
37. ZORGNIOTTI A.W., REISS H., TOTH A., SEALFON A. : Effect of clothing on scrotal temperature in normal men and patients with poor semen. *Urol.*, 1982, 19 : 176-178.
38. ZUPP J.L., SETCHELL B.P. : Prolonged effect of subfertile males in reducing numbers of fetuses in normal females rats. *Proc. Aust. Soc. Reprod. Biol.*, 1988, 20 : 70.

ABSTRACT

BP. SETCHELL, R. MIEUSSET

It appears that a need has evolved in many mammals for the testes to be kept at a temperature less than that found in other abdominal organs. A number of specialized anatomical structures are involved in this process, and it is clear that many aspects of sperm production and function can be adversely affected if the testes of the whole animal are exposed to temperatures only slightly above their normal values.

Key words : Testis. Thermoregulation. Spermatogenesis. Fertility. Embryo development.