Nd-YAG Laser を用いた心室性不整脈治療に関する 実験的研究

山下輝夫、岡田昌義、吉田正人、
森本真人、西尾 渉、中桐 啓太郎
神戸大学第二外科

Experimental study of Nd-YAG laser irradiation for ventricular tachycardia

Teruo Yamashita, Masayoshi Okada, Masato Yoshida,
Masoto Morimoto, Wataru Nishio, Keitaro Nakagiri

Department of Surgery, Division II, Kobe University School of Medicine

Abstract : Therapeutic myocardial ablation has rapidly emerged as the treatment for many symptomatic cardiac arrhythmias. Radiofrequency(RF) catheter ablation, which is the dominant mode of energy delivery, is the useful method to supraventricular tachycardias. However, a major limitation of RF catheter ablation is the small ablated size created by this technique. When the larger arrhythmogenic substrates is in need of ablation such as ventricular tachycardia with ischemic heart disease, its success rate is remarkably reduced. So we have investigated the efficacy of Nd-YAG laser irradiation to the ventricular myocardium in the beagles.

Methods : In this study, laser energy generated by MEDILASER-YAG 50 (model MEL-50Y) was delivered to the ventricular epicardium from the ceramic tip positioned on the top of the quartz core fiber 0.6 mm in diameter by means of pulse wave mode (1 shot = 20W x 5 sec).

We investigated the ablated myocardial depth and width in the contact method compared with those in the non-contact one, and the effects of the temperature in the myocardium.

Results : (1) Ablated size was significantly correlated with total energy. (2) Acceptable lesions were obtained without charring or crater on the surface of the epicardium in the non-contact method. (3) Histologically, ablated myocardium consisted of homogeneous coagulative necrosis was well-circumscribed and clearly distinguished from the normal lesion.

Conclusions : It is suggested that Nd-YAG laser irradiation is alternative method to RF ablation for ventricular tachycardia.

<はじめに>

心室頻拍症は、薬剤抵抗性を示すことが多く、予後不良な疾患の一つであるが、近年電気生理学的検査法の発達に伴い、

発生機序や部位同定が可能となり、非薬物治療として心筋焼灼法が注目されている。現在使用されている心筋焼灼法としては、高周波カテーテル心筋焼灼法

(RFCA)が主であるが、上室性不整脈に対する効果と比較して、心室性不整脈ではRFCAの成績は満足できるものではない。成績が不良である原因は、RFCAでは深達度、面積においても十分な焼灼域が得られないことに大部分が起因すると考えられる。われわれは、RFCAに変わりうるエネルギーとして、短時間に強力なエネルギーを供給することが可能であるNd-YAG Laserに着目し、基礎的実験を行い、安全性および有用性に関して検討した。

<対象と方法>

対象は、体重8～13KgのBeagle犬。用いたNd-YAG Laserの発生装置は、MEDILASER-YAG50, model MEL-50Y。

波長は $1.06\mu\text{m}$ 、pulse wave modeを選択し、出力10Wの3秒間照射を行い、エネルギー量の調節は照射回数にて行った。Laser光は、外径2.2mmのFiber外套内の径0.6mmのquartz core fiberを通り、先端に取り付けられたセラミックチップより照射されるが、Fiber内は常に室温生理的食塩水にて遠流し冷却した。照射はすべて心外膜側より施行し、臨床応用すべく以下の実験を行った。

実験(1) 照射方法の違いによる効果

(a)接触照射：チップを組織に接触させ、可及的にFiberを通して組織に圧力がかからないように配慮し、組織に対して垂直方向を保ちながら照射。

(b)非接触照射：組織とチップとの距離を正確に5mm離して垂直方向に照射。

実験(2)：心室筋環境の違いによる効果

(a)常温拍動下心室筋

(心筋温度：37℃)

(b)冷却完全心停止下心室筋

(心筋温：10℃)

実験(1)および(2)において、総エネルギー量と得られた変性域直径、および深達度との関係を求め、照射方法や心室筋の環境の違いによる効果の差異を検討し、また得られた変性域を組織学的に比較検討した。

<結果及び考察>

(1) 照射方法の違いに関して

非接触照射法において、総エネルギー量(E(J))と変性領域の直径(Dia(mm))、深達度(Dep(mm))の間には、それぞれ正の相関関係が得られた。

$$\text{Dia} = 3.150 + 0.076E, r = 0.997$$

$$\text{Dep} = 0.022E, r = 0.966$$

直接照射法では、得られたDepとEの間には正の相関関係が得られ

($\text{Dep} = 0.400 + 0.037E, r = 0.999$)、しかも非接触照射法と比較して、同じエネルギー量でより大きな深達度を得られた。しかし、 $E \geq 100$ では、接触部にcharringやcraterの形成が認められた。また、得られた変性域のDiaは、非接触法で得られたものより小さく、しかも6mm程度で頭打ちとなった。

(2) 心筋環境の違いに関して

各条件下において総エネルギー量と得られた変性域の直径及び深達度との間には正の相関関係が得られた。

常温拍動下心室筋において

$$\text{Dia} = 2.750 + 0.083E, r = 0.968,$$

$$\text{Dep} = -0.167 + 0.025E, r = 0.964,$$

冷却完全心停止下心室筋において

$$\text{Dia} = -1.013 + 0.052E, r = 0.989$$

$$\text{Dep} = -0.351 + 0.008E, r = 0.988$$

以上より、冷却完全心停止下心室筋においては、常温拍動下心室筋と比較して、同等の変性域直径及び深達度を得るため

には、それぞれ約1.6倍および約3倍の総エネルギーが必要であった。

(3) 組織学的検討

得られた変性域は、ほぼ正円形で周囲の正常組織との境界は明瞭であった。接触照射では、接触部位にcharringおよびcraterの形成が認められた。非接触照射では、得られる深達度は小さいものの、均一な正円形の大きな変成域が得られ、しかもcharringなどは認められなかった。これらより、心室頻拍のfocusが小範囲で、しかも深層に存在している症例では、Nd-YAG Laser接触照射法が適していると考えられた。また、心外膜側表層に近い部位で広い範囲を焼灼したり、また陳旧性心筋梗塞周辺などの穿孔しやすい部位の焼灼は、非接触照射が有用であると思われる。

変性域を光顕像にて検討したところ、変性域の中心部は熱凝固壊死に陥っており、contact band necrosisを介して正常心筋層とは明瞭に区別されていた。しかし、正常心筋層内にも小さな変性領域が点在しており、心室を構成するコンポーネント（心室筋、特殊心筋、脈管系など）のLaser照射に対する反応のばらつきが考えられる。このような変化が、ablation後の新たな不整脈のfocusになる可能性については、今後解明されるべき課題であると考えられた。

Laser心筋焼灼法におけるエネルギー損失に関しては、照射対象である心筋の温度のみならず、心筋内の微小循環による冷却効果が関与していると考えられた。

<まとめ>

Laser心筋焼灼法は、RFCA法と比較して同等の焼灼効果が短時間で得られ、しかも照射方法を変えることにより小範囲を選択的に焼灼したり、また深層を焼

灼したりなど状況に応じた焼灼が可能であり、非常に有用であると思われる。今後、Nd-YAG Laserを用いた不整脈治療は、RFCA法よりも優れた効果が期待できると思われる。