

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	水蒸気を用いた凝固止血用外科手術器の開発
Title(English)	Development of Surgical Cauterization Device Using Steam Jet
著者(和文)	吉木 均
Author(English)	Hitoshi Yoshiki
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10662号, 授与年月日:2017年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:只野 耕太郎,吉田 和弘,小俣 透,進士 忠彦,柳田 保子
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10662号, Conferred date:2017/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：メカノマイクロ工学	専攻	申請学位 (専攻分野)：博士 (工学)
Department of		Academic Degree Requested Doctor of
学生氏名：吉木 均		指導教員 (主)：只野 耕太郎
Student's Name		Academic Supervisor(main)
		指導教員 (副)：吉田 和弘
		Academic Supervisor (sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文「水蒸気を用いた凝固止血用外科手術器の開発」は、全 5 章からなる。 第一章では、この研究の背景、現状の技術、解決しようとする課題を述べ、研究目的を明らかにしている。肝がんの根治術として最も一般的な肝切除術においては、多量の出血がある肝切離面を効果的に凝固止血できる技術が求められており、非接触かつ面的な凝固止血が有効であると考えられる。しかし、既存の非接触・面作用型のアルゴンプラズマ凝固法においては致死性の塞栓発生リスクが報告されている。そこで本研究では、非接触かつ面的な凝固止血を、塞栓発生の恐れがない水蒸気の凝縮伝熱により達成する、新たな凝固止血法を提案し、その有効性を確認することを研究目的とした。 第二章では、提案する水蒸気凝固止血法物理学的特性と生物学的な効用をまとめ、定性的および定量的に評価している。まず、非接触・面作用型という点で類似するアルゴンプラズマ凝固法との特徴比較を通し、肝切除術を対象とした場合の効用を検討している。次に装置の設計指針を定めるために水平平板における強制対流膜状凝縮熱伝達理論を適用した理論解析をおこなっている。そして提案手法の原理実証のために、水蒸気噴流生体凝固装置を開発し、屠殺後のブタの肝臓を用いて凝固性能を定量的に評価している。この定量評価の結果、装置の設定圧力が 10kPa (G)~50kPa (G) のときに凝固深さが 0.5-2.7mm になることを明らかにしている。最後に麻酔下のブタの肝臓において提案手法による凝固止血を実証している。 第三章では、副次熱傷および腹腔鏡の曇りの要因となる拡散水蒸気を抑制し、より安全な水蒸気を用いた凝固止血を達成するために、吸引流と水蒸気噴流を組み合わせた凝固止血法を提案している。まず、水蒸気噴流の周辺に吸引流を発生させ、水蒸気が対象に衝突し、かつ拡散水蒸気が回収されるという現象の実現可能性を CFD 解析により検討している。そして解析結果を踏まえた設計指針のもと、吸引併用水蒸気凝固止血装置を開発した。2.3 にて製作した水蒸気噴流生体凝固装置に吸引系を導入し、水蒸気噴流と吸引流が併用できる新たなノズルを開発している。吸引流の併用効果を定量的に評価するため、水蒸気噴流と同時に吸引流を発生した場合における生体組織の凝固深さおよび凝固面積を、吸引流を併用しない場合と比較した。実験を通して、吸着閉鎖凝固と非接触凝固の 2 つの現象が確認された。吸着閉鎖凝固は、対象を吸着することで水蒸気の拡散を防ぎ、凝固面積はノズル外径により決定し限定される。ただし凝固深さは有意に減少するため、範囲を限定した浅い面的焼灼を実現したい場合は有用な凝固法である。非接触凝固は、対象に衝突した水蒸気噴流を吸引流により回収することで水蒸気の拡散を防ぐ。凝固面積は吸引なしの場合に比べ有意に抑制されるが、焼灼範囲が常に一定になるわけではない。比較的広い範囲を 1.5mm~2mm 程度の深さまで凝固したい場合に適した凝固法と言える。 第四章では、提案する水蒸気噴流による凝固止血法および水蒸気噴流と吸引流を併用した凝固止血法により、肝実質の出血を止血できることを in vivo 実証することを目指した。開腹手術では、水蒸気のみによる止血、水蒸気と吸引流併用による非接触凝固および吸着閉鎖凝固による止血、非接触凝固とモノポーラを組み合わせた模擬肝切除術を実施し、提案手法ならびに開発した装置による止血が実証された。腹腔鏡下手術でも止血を試み、実証に成功した。また、これらの実証から臨床応用に向けた設計課題が明らかとなった。未解明であった生体における凝固止血機序については、in vivo 実験にて凝固止血された組織を観察し、病理組織学的な評価から明らかにすることを目指した。組織観察の結果から、水蒸気噴流により凝固止血した組織内および凝固変性部周辺の血管内において、塞栓の原因となる気泡は観察されず、また非接触凝固および吸着閉鎖

凝固が生体にあたえる熱的作用とその急性期の影響が明らかになった。提案手法の臨床における有用性を示すために、既存の外科手術用エネルギーデバイスの凝固形態と病理組織観察を通して比較し、提案手法の特徴を明らかにすることを目指した。本実験では死後のブタの肝臓を用い、アルゴンプラズマ凝固装置、バイポーラ、生理食塩水滴下バイポーラおよび提案手法の凝固形態を比較している。更に Hammond らの研究における死後のウシの肝臓を用いた超音波切開装置、超音波吸引外科手術器、ベッセルシーリングデバイスおよび生理食塩水滴下バイポーラによる凝固形態とも比較した。これらの比較結果から、水蒸気による凝固止血法は(1)乾燥をとまなわない、生理食塩水滴下バイポーラに類似する凝固形態で、(2)ベッセルシーリングデバイス以外の他の凝固止血機器と比べ、同等以上に稠密な凝固領域を形成できる、という形態的特徴を示すことが明らかとなった。

第五章では本論文の成果を総括し、今後の研究課題をまとめている。

以上要するに、本論文は腹腔鏡下でも使用可能であり、肝切離面の止血に有用な非接触・面作用型凝固止血デバイスである水蒸気凝固止血装置を提案・開発し、有効性を実証したものである。新たな凝固止血法を提案・実証し、その特性と可用性を明らかにしたものである。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：	メカノマイクロ工学	専攻
Department of		
学生氏名：	吉木 均	
Student's Name		

申請学位(専攻分野)：	博士	(工学)
Academic Degree Requested	Doctor of	
指導教員(主)：	只野 耕太郎	
Academic Supervisor(main)		
指導教員(副)：	吉田 和弘	
Academic Supervisor(sub)		

要旨(英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Liver resection surgery is important and standard radical treatment for hepatocellular carcinoma. In this study, a novel contactless surficial cauterization method using steam was developed to achieve faster cauterization and coagulation of liver resection surface without carbonization and gas embolisms.

In Chapter 1, current situation, technologies, and challenges in liver surgery were summarized. Characteristics and medical application examples of steam were also described as backgrounds.

In Chapter 2, the steam cauterization method was proposed and evaluated. The method uses steam-jet to coagulate exposed tissues with condensation heat-transfer. With the analysis based on forced-convection film-wise condensation heat-transfer theory, large heat-transfer ratio was expected with steam-jet of under 100kPa(G). The steam-jet coagulator was developed to evaluate the coagulation and cauterization ability of the proposed method. The *ex vivo* coagulation experiments using porcine liver blocks revealed that the coagulation depth was 0.5-2.7mm with steam-jet of 10kPa(G)~50kPa(G). The feasibility of the method was confirmed through the *in vivo* cauterization experiments.

In Chapter 3, suction flow was integrated to reduce spreading steam which had caused collateral thermal damages and fogging on laparoscopes. The suction-integrated steam-jet cauterization device with the double-layered nozzle was developed to achieve the integration of steam-jet and suction flow for steam collection. Designs and settings were decided based on CFD analyses to confirm feasibility of the collection and to discover adequate pressure parameters. The results of coagulation experiments indicates two options for cauterization: contactless cauterization with 1.5mm~2mm coagulation depth and broad coagulation area, and closure cauterization with <1mm coagulation depth with restricted coagulation area.

In Chapter 4, cauterization abilities and characteristics of the proposed method were studied. Successful cauterizations were performed with both contactless and closure methods in open surgery. The liver resection without the Pringle maneuver was demonstrated with the developed device in combination with a bipolar electrocautery device. Moreover, the laparoscopy-available double-layered nozzle cauterized porcine livers successfully. Microscopic views of cauterized porcine liver revealed that the proposed method with steam can coagulate tissues firmly without bubbles caused by gas intrusion.

In Chapter 5, the outcomes of this study and future tasks were described.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).