

氏 名	佐 藤 正 明 さとう まさあき
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 1347 号
学位授与の日付	昭 和 56 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	血管壁のバイオメカニクスとその血管壁病変への 適用に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 大 矢 根 守 哉 教 授 河 合 弘 廸 教 授 赤 松 映 明

論 文 内 容 の 要 旨

本論文において著者は、雑種成犬から切出した血管を用いて、血管壁の力学的な挙動および組織学的な特徴を調べ、血管壁の変形を支配する力学的構成法則を確立し、これを用いて動脈硬化と腹部大動瘤の発生を力学的観点から検討したものである。本論文は9章からなり、各章の概要はつぎの通りである。

第1章は緒言であって、従来からのこの分野の研究の概要と問題点、および本研究の目的と意義を述べている。

第2章では、血管壁の力学的な挙動を取扱っている。動脈血管壁に静的および動的な内圧を負荷し、血管径の膨脹率を測定し、その結果からみて動的な負荷の場合には静的な負荷の場合に比べて20~30%みかけ上硬化している様相を呈すること、またこの現象は平滑筋の存在によるものであることを述べている。

第3章では、血管壁の力学的性質と組織の関係を扱っている。血管壁は3要素、すなわち弾性線維、膠原線維、平滑筋によって構成されているが、それぞれを単独に染色した標本から組織の面積分率を光学的に測定し、第2章でえられた力学的な挙動と組織の面積分率との間の関係を求めている。

第4章では、血管壁の変形を支配する力学的構成法則を導くための実験および解析について述べている。この解析では血管壁を、有限変形を呈する円筒状の弾性体と仮定し、この仮定と実験結果から力学的構成法則を導き、さらにこれを用いて内圧による血管壁内の応力分布の計算を行い、その結果、最大応力は、これまで医学領域で用いられてきたラプラス式による応力値の2倍以上となることを示している。

第5章では、血管壁の粘弾性特性の解析について述べている。第4章での解析では血管壁の力学的性質のうち粘性を近似的に無視しているが、本章では実験結果を用いて緩和弾性率を計算し、この値とGreen-Rivlinの有限粘弾性理論とにより、内圧が正弦波状に80~120mmHgの間で変動している場合の血管壁の変形形状および応力分布の解析を行っている。

第6章では、血管壁は生体内では軸方向に引張力をうけていることから、内圧を負荷した状態で血管壁の軸方向の引張試験を行い、引張速度と血管の種類による変形の違いを実験的に検討し、さらに血管壁の軸方向と円周方向の力学的異方性を考慮に入れた力学的構成法則を定めている。

第7章では、血管壁中に存在する栄養血管の変形と、それに伴う栄養物質と酸素の供給不足を取扱っている。まず血圧が高くなったときを想定し、血管壁の膨脹に伴う栄養血管の変形を有限要素法によって解析し、一方、実験的に血管壁の変形による血流抵抗の増加と血流量の減少を調べ、さらに栄養血管から周囲組織への栄養物質および酸素の移動について解析を行い、これらの結果から、高血圧による栄養血管の変形が原因となって血管壁への栄養物質と酸素の供給不足を招来し、この状態が長期間続くと、血管壁の病変が発生する可能性のあることを指摘している。

第8章では、動脈硬化の初期にみられる血管壁の軟化あるいは弱化が生じたときには、内圧により血管壁の一部が膨隆し、動脈瘤が発生・成長する可能性のあることを、第4章に示された血管壁の力学的構成法則を用いた解析によって説明している。

第9章は結論であって、本研究により得られた成果をまとめている。

論文審査の結果の要旨

血液循環器系疾患の一つである血管壁の病変は、血管壁組織の変性と形状変化を伴う疾患であり、したがって血管壁の変形挙動を材料力学的に明らかにすることは、その疾患の原因を解明するために必要である。著者はこのような観点から、雑種成犬の血管を用いて、内圧および軸方向引張力の組合せ負荷をうける血管壁の変形挙動を検討し、血管壁に関する力学的構成法則を確立し、さらにこの法則を用いて動脈硬化と腹部大動脈瘤の発生原因をバイオメカニクスの立場から説明し、以上の研究成果を本論文にまとめた。主な成果は次の通りである。

(1) 血管壁の3構成要素、すなわち弾性線維、膠原線維、平滑筋について太さと占有面積分率とを光学的に測定する方法を考案し、その測定結果にもとづき血管壁の組織と変形のしやすさとの関係式を作った。またこの関係式を用いることによって、頭蓋内の血管、末梢血管など材料力学的な試験を行うことの困難な血管の変形特性をそれらの血管壁の組織の状態から推定することが可能となった。

(2) 血管壁を近似的な弾性体であるとする仮定と、軸方向に一定の引張ひずみかけた状態で血管壁に内圧を負荷する実験の結果とを用いて、血管壁の有限変形を支配する力学的構成法則を確立した。

(3) 材料の粘弾性特性を考慮に入れた Green-Rivlin の応力緩和の式と、一定軸方向引張ひずみのもとで血管壁に動的な内圧を負荷する実験の結果とを用いて、緩和弾性率を決定する方法を提案し、さらに動的な内圧をうけた血管壁の変形と応力を解析するための手法を提案した。

(4) 生体内では血管壁は軸方向引張力をうけているので、著者は一定内圧下での血管壁の引張試験を行い、その結果から異方性材料としての血管壁の力学的構成法則を導き、またこれを用いて、周囲から拘束力をうけている血管壁の形状を解析する方法を示した。

(5) 血管壁の病変の例として動脈硬化と腹部大動脈瘤をとりあげ、その発生原因をバイオメカニクスの観点から検討した。動脈硬化については、動脈中の高血圧のために動脈血管壁中の微細な栄養血管が扁平に変形し、血流量が低下し、血管壁内での栄養物質と酸素の供給が不十分となり、血管壁の病変が生ずることを、材料力学および流体力学によって説明した。腹部大動脈瘤については、動脈硬化の初期に血管壁が弱くなることを条件として、血圧と軸方向伸びに応じた血管壁の膨脹変形を解析し、その結果、血管壁

が膨隆し、大動脈瘤が発生することを明らかにした。

以上のようにこの研究は、血管壁に関する実験の結果を用いて力学的構成法則を導き、その応用例として血管壁病変の発生を力学的に解析する方法を示し、さらに人工血管の製作資料を提供するものであり、学術上・實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。