

抄録集 7月3日(日)

SimVascularによる血流解析の紹介

荒井和喜

株式会社 オリエンタル ソリューションズ

【はじめに】SimVascularは心臓血管系の血流解析のための世界初のオープンソース・ソフトウェアであり、画像データから血管の3次元モデルを構築し、有限要素法による流体力学計算により血流の速度、圧力等を算出する。これらの手順は一つのプログラム内で連続的に処理される。開発、メインテナナンスはアメリカ国立衛生研究所(NIH)が助成するSimTKコミュニティで行われ、サポートはサイト上に設置された掲示板での質疑応答となる。プログラムは誰にでもダウンロードが可能であり、Windows, Mac, Linuxの各PCで作動するバージョンが用意される。

今回そのプログラムを用いて解析を行ったので、その手順、内容を紹介する。

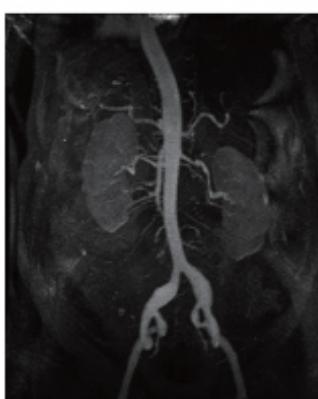
【手順】

- (1) SimVascular、windows 64bit版をダウンロード、インストールした。プログラム起動後サンプル画像データを読み込む。
- (2) 断面画像からAorta - Iliac artery血管の中心位置を手動で抽出し、パスラインを作成する。パスラインに従って複数の円形状断面を作り(セグメンテーション)、それらをつなげて3次元モデルを作成する。
- (3) 3次元モデルから表面メッシュを作成し、内部を4面体要素で分割する。
- (4) 境界条件の設定、今回は入口流量と出口抵抗を指定したが種々の設定が可能。
- (5) 流れ場についての非定常計算をFEMにより行う。
- (6) 可視化プログラムParaviewを用いて、流速、圧力、WSSの分布を表示する。

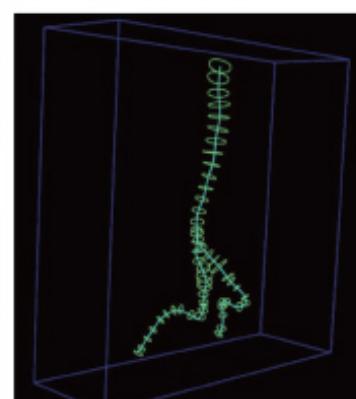
【結果】

- ・ Aorta - Iliac artery部の血流解析を行い、SimVascularの利用手順を把握した。
- ・ プログラムには画像データの入力方法、セグメンテーション方法、境界条件の設定方法等に種々のオプションがあり、多くの利用方法が用意される。
- ・ 今後、解析例を増やしプログラムの検証と高機能化を目指す。

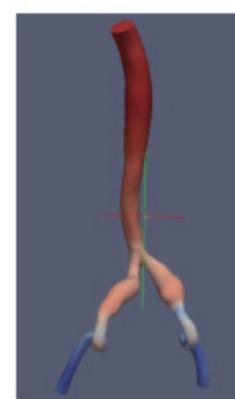
Dicom読み込み機能の向上、セグメンテーションの向上(自動化、複雑形状への対応=瘤、バイパス等)、血管変形と血流との連成解析(FSI)、専用ポストの開発等。



(1)



(2)



(6)

抄録集 7月3日(日)

心エコーを用いた軟骨魚類心臓の形態・機能解析

平崎裕二¹ 南沢享² 岡部正隆³

¹ 東京慈恵会医科大学大学院医学研究科

² 細胞生理学講座

³ 解剖学講座

【背景】ヒト右心室は複雑な形状を持つために、運動機構に関する研究が左心室に比べ少ない。魚類の心臓は一心房一心室を持ち、心室は主に海綿状心筋で構成されている。また、静脈血を低圧で鰓に送るという、右心室に類似した役割を担っている。このため、魚類の心臓はヒト右心室研究のモデルとなる可能性がある。特に軟骨魚類は硬骨魚類よりも前に地球上に出現し、大きな遺伝子の変化を経ることなく現存している。我々は心エコーを用いて軟骨魚類心臓の形態と運動特性について解析した。

【対象と方法】東京都葛西臨海水族園で飼育中の軟骨魚類15体(サメ7体、エイ8体)を鎮静し、心エコー画像データを取得した。二次元断層像(長軸・短軸断面)、三次元画像を用いて心室の形態の観察を行い、二次元スペックルトラッキング法(2D-STE)を用いて心室の運動特性を解析した。

【結果】心室短軸断面では房室弁は左背側に、動脈円錐(流出路)は右腹側に描出された。房室弁と動脈円錐との間に肉柱が心室内腔に突出し、心基部を左右に区画していた。三次元ボリュームデータを用いて心室の水平剖面を観察したところ、心室は中央部の肉柱によってU字型の血流経路を形成していた。また、心室中央部から放射状に肉柱が配列しており、房室弁下部の肉柱は輪状構造を形成していた。収縮期にはこれらの肉柱が心室壁を中央に向かって牽引する様子が観察された。2D-STEでは、心室セグメントによって収縮特性が異なることが明らかになった。Radial displacementは背側のセグメントで、Circumferential strainは腹側のセグメントで有意に高値を示した。Longitudinal strainはセグメント間で有意な差がなかったが、Longitudinal displacementは心尖部より心基部のセグメントで高値を示した。

【考察】腹背方向(正面)から観察した軟骨魚類の心臓は発生段階の人の心臓に類似した構造を持っていました。軟骨魚類とヒトの心臓では共通の形態形成機構が用いられている可能性が示唆された。心室内部に配列した肉柱は、ヒト右心室にみられる室上稜、中隔縁柱、調節帯に相当すると考えられた。軟骨魚類の心室はふいご様の運動を行い、緻密心筋よりも内部の肉柱が収縮の中心的役割を果たしていると考えられた。今後軟骨魚類の心臓についてさらに研究を行うことにより、ヒト右心室の発生、形態、運動機構について新たな知見が得られるものと期待される。

抄録集 7月3日(日)

MVIT (Multi-Phase Volume Interpolation Technology)による大動脈解離 (Stanford B型) の性状評価について

横山博一^{1,2} 木村文昭² 紙谷寛之²

¹ 日本福祉看護・診療放射線学院
² 旭川医科大学 心臓大血管外科

抄録集 7月3日(日)

体外循環における血栓の電気計測

菊地 大輔¹ Dung NGUYEN HUU¹ Achyut SAPKOTA² 武居 昌宏¹

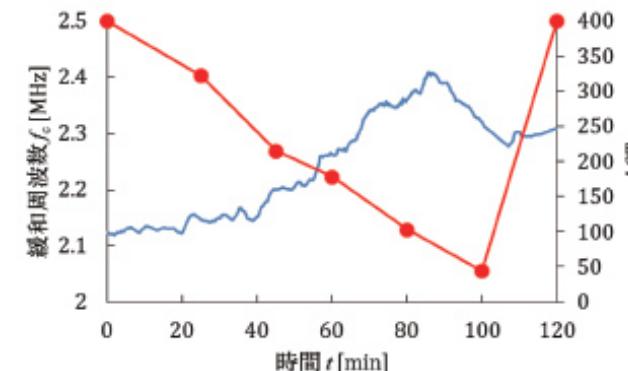
¹ 千葉大学大学院工学研究科
² 木更津工業高等専門学校

【背景】血栓の有無は循環器系の疾患はもちろん、循環器デバイスの設計・開発においても重要な判断基準となる。現在、体外循環における血栓形成のモニタリング手法は確立されていない。光や音による計測手法の研究も行われているが、血液と血栓の明確な差異を見つけることが困難であることが現状である。

【方法】ヘパリン処理された流路長4mの循環流路内において流量1.5L/minでケエン酸ナトリウムにより抗凝固されたブタ血液を循環させながら、凝固薬として0.02M塩化カルシウム液を投与する血栓形成過程を行い、0.3MHzから3MHzの周波数範囲で電気インピーダンス、流量、ACT (Activated Clotting Time)、Fbg(Fibrinogen)、Hct(Hematocrit)、Hb(Hemoglobin)を計測した。電気インピーダンスにはCole-Cole解析を行い、緩和周波数fc、形状係数α、低周波数での抵抗値R₀、高周波数での抵抗値R_∞の4つのCole-Coleパラメータを求めた。また、電気的等価モデルによるシミュレーションを行った。

【結果】血液の緩和周波数はある時間から上昇を始め、ピークが現れて減少に転じた。ピークが現れた時間にACTが正常値を下回ったこと、Fbgが減少したことから緩和周波数の変化は血栓形成によるものだと考えられる。また、シミュレーションの結果からも血栓の形成が緩和周波数を減少させることが示された。

【結論】血栓形成の直前に緩和周波数の増加がみられ、血栓検出の可能性が示された。



抄録集 7月3日(日)

左室内の渦の強さを見るとDCM患者の早期心不全再入院を予測出来る

高橋梨紗¹ 上嶋徳久² 西川はる香² 仙波宏章² 澤田 準²

1 東京医科大学病院循環器内科

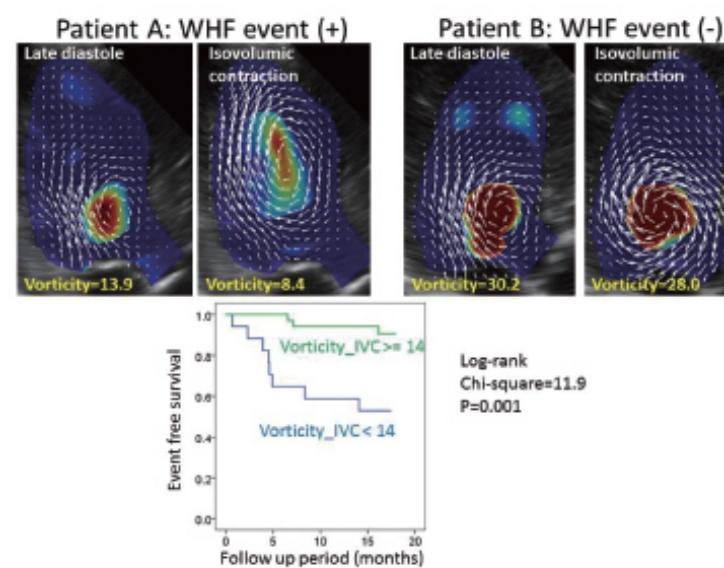
2 心臓血管研究所

【背景】拡張期から収縮期への移行は、単なる時相の変化ではなく、左室内での血流が渦を形成することで血流の方向を転換し、出に備えるための一連の流れである。本研究の目的は、左室内の渦の動きを観察することで心不全患者の予後を予想できるか検証すること。

【方法】臨床的に症状が安定している52名の拡張型心筋症の患者（平均年齢61±12歳、左室駆出率31±11%）の左室内血流の渦の経時的変化を、VFM（日立製作所）を用いて評価した。渦の強さを、渦度を用いて定義した。左室充満圧はE/E'で評価した。一次エンドポイントを心不全の悪化による入院とした。

【結果】上段の図は駆出率が同じDCMの患者の渦を比較したものである。Patient Bの場合、心房が収縮することによってより速く渦が回転し、Patient Aと比較して、渦は等容収縮期の間ほぼ同じ形と強さを維持することが出来た。その結果、この間の渦はPatient AよりもPatient Bのほうが強かつた。計52名の患者の中で11名は心不全増悪による入院の既往があった。単变量解析では心房収縮間の最高渦度（ハザード比=0.86, p=0.002）と等容収縮期の平均渦度（Vorticity_IVC, ハザード比=0.85, p=0.001）が一次エンドポイントと関連があった。カプランマイヤー曲線ではVorticity_IVCが低いと心不全増悪の危険性が高まることが示唆された（下段図）。多变量解析では駆出率（ハザード比=0.96, p=0.26）、E'（ハザード比=1.21, p=0.56）、E/E'（ハザード比=1.04, p=0.31）を補正したあとでも、Vorticity_IVC是有意であった（ハザード比=0.88, p=0.049）。

【結論】IVCでの渦の形成は拡張期から収縮期にかけての血液の流れに重要な働きを持っており、DCM患者の臨床的予後に関連がある。



抄録集 7月3日(日)

大血管転換術後の胸部大動脈の曲率と捩率の変化が血流動態に与える影響の数値解析

福井智宏¹ 浅間浩明¹ 川口美沙¹ 木村 学² 糸井利幸³ 森西晃嗣¹

1 京都工芸繊維大学

2 京都第二赤十字病院

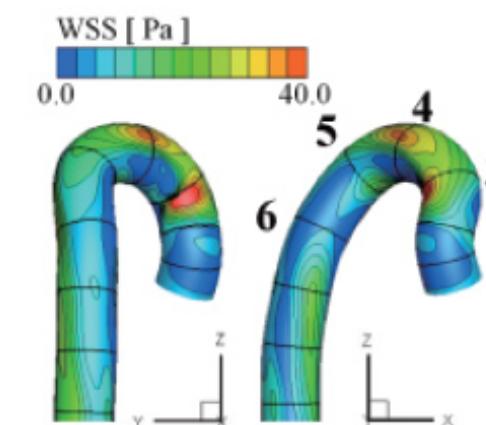
3 京都府立医科大学 小児循環器・腎臓学

【背景】大血管転換術後の大動脈は、その基部において大きな曲がりや捩れを生じる場合が多く、その個々に異なる幾何学的な変化に伴う血流動態の変化、さらには、その変化が成人期での心血管機能へ及ぼす影響についてはほとんど解明されていない。

【方法】本研究では、術後患者の医用データより作成した大動脈モデル内流れの数値解析を行い、計算モデルの曲率ならびに捩率が壁せん断応力分布に与える影響を調べ、動脈瘤の発症との関連性を考察した。

【結果】その結果、大血管転換術後の胸部大動脈において、壁せん断応力が最大値は健常者のそれよりも高く、さらに、最大壁せん断応力を示した位置は健常者のそれとは異なることを確認することができた。このことは、転換術後の胸部大動脈は、大動脈瘤発症のリスクが健常者よりも高く、その発症部位も健常者とは異なる可能性を示唆している。

【結論】大血管転換術後の胸部大動脈における大動脈瘤発症のリスクを下げるためには、術中に大動脈基部の曲率をできる限り小さくすることが望まれる。



抄録集 7月3日(日)

セリウム陽極微小血管造影装置の開発と冠動脈微小血管の評価

田中千陽^{1,2} 静間 徹² 夷木喜久枝² 福山直人² 盛 英三²

1 東海大学八王子病院心臓血管外科

2 東海大学医学部生体構造機能学

【背景】我々は新しい微小血管造影法として、CT用X線管と超高感度ハイビジョンカメラを用いた装置を開発したが、体厚10cm以下の撮影は困難であった。今回、体厚の厚い部位の臓器を造影するため、セリウム陽極高輝度擬似単色X線装置を開発した。本実験では装置を用い、イヌの冠動脈微小血管を造影する。またC-kit陽性心臓幹細胞を用いて虚血心を治療し、微小血管の走行を確認する。

【方法】セリウム陽極高輝度擬似単色X線装置；陽極にセリウムを用いることで、本装置はセリウムのKa線(34.4KeV)のX線スペクトルを得ることができる。ヨードのK吸収端(33.2KeV)を中心とするセリウムの疑似単色X線により、本装置は微量ヨードの検出能を獲得する。また、大型X線発生装置を用い、金属フィルターをなくしたことでの遮蔽によるX線エネルギーの減衰が少ない。

動物実験；実験1；ビーグル犬(N=2)の冠動脈にヨードマイクロスフェアを充填し、心臓を取り出し本装置で造影した。また、心臓をアクリル板で遮蔽し同様に造影した。既存の装置との比較として、単純X線装置で造影実験を行った。

実験2；ビーグル犬(細胞治療群、N=5)の心耳からC-kit陽性心臓幹細胞を取り出し、1000000個まで培養した。同一の犬の冠動脈を結紩し、心尖部に虚血を作成、自己C-kit陽性心臓幹細胞を虚血巣の境界部へ注入した。心臓を取り出し実験1と同様に造影した。対照実験として、ビーグル犬(対照群、N=5)に同様の処置をし、心臓幹細胞の代わりに同量の外液を注入した。

【結果】実験1；摘出心造影にて左前下行枝より内側への貫通枝を3分枝まで観察した。可視化された最小の血管径は直径約50 μmであり、これは本装置の検出器のもつ限界の解像度である。また、アクリル板で遮蔽しても解像度は保たれた。一方、単純X線装置で造影すると左前下行枝第2分枝まで可視化されたが、アクリル板で遮蔽すると、冠動脈微小血管は評価困難であった。

実験2；細胞治療群では、心尖部に作成した虚血巣に蛇行し拡張した血管を認めた。蛇行した血管は直径約100 μmであり、群内のすべての犬に認められた。一方、対象群では虚血巣に無血管野が認められた。

【結論】セリウム陽極高輝度擬似単色X線は微量ヨードの検出ができ、微小血管の評価に優れている。さらに大型X線発生装置により冠動脈微小血管の撮影が期待できる。また細胞治療群にのみ認められた微小な蛇行血管は、新生血管の可能性がある。細胞治療後判定として、微小血管の評価が効果的かもしれない。

抄録集 7月3日(日)

右室ペーシングによる左室収縮拡張パターンと左室拡張機能との関連 —左室内圧較差と左室壁運動の超音波による検討—

窪田由季¹ 山本匡² 高橋健³ 大野香奈³ 板谷慶一⁴

1 北海道循環器病院 臨床検査科

2 北海道循環器病院 循環器内科

3 順天堂大学 医学部 小児科

4 京都府立医科大学 心臓血管外科 心臓血管血流解析学講座

【背景】右室ペーシングでは電気伝導パターンによって左室収縮が協調運動を来さない場合があり、左室収縮能、拡張機能に影響を及ぼすことが予測される。右室ペーシングでは心尖部や中隔などペーシングサイトが症例によってしばしば異なるが、これら的心機能に及ぼす差異を検討した報告はまだない。

【目的】右室ペーシングサイトが及ぼす左室収縮拡張パターンへの影響と左室拡張能への影響を解明すること。

【方法】5例の左室収縮率(EF)の保たれた右室ペーシング患者において、自脈時及び心拍数を数段階に変更した右室ベースメーカー刺激時で超音波検査を行い、Speckle Trackingにより左室の収縮パターンを追跡する。同時に拡張期左室のカラーM mode画像より拡張早期左室内圧較差(IVPD)を計測し収縮拡張パターンが及ぼす左室左室拡張能への影響を報告する予定である。

抄録集 7月3日(日)

非虚血性拡張型心筋症(NIDCM)に対する左室形成術と僧帽弁手術の限界

新宮康栄 村瀬亮太 杉本聰 佐藤公治 浅井英嗣 大岡智学 橋 剛 松居喜郎

北海道大学病院 循環器・呼吸器外科

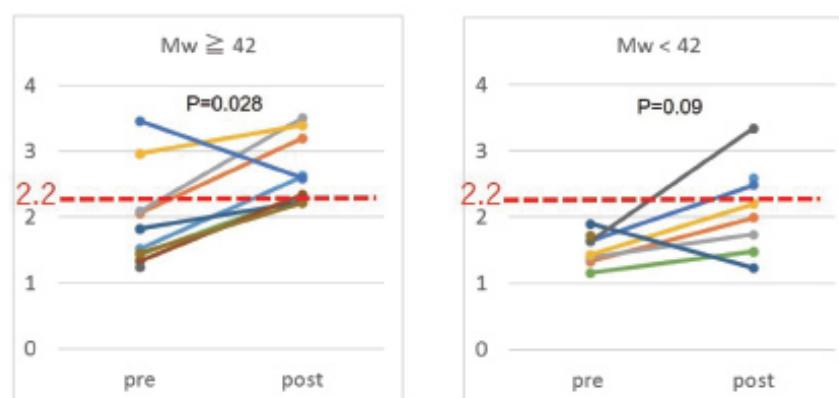
【背景】非虚血性拡張型心筋症(NIDCM)のなかには移植適応とならない患者さんも少なからず存在し、薬物治療抵抗性の心不全症状を呈する症例に対する外科治療の役割と限界を認識することは重要である。

【方法】NIDCMに対する左室形成術と僧帽弁手術後の予後を術前のpreload recruitable stroke workの係数(Mw)および左室前方拍出量から算出した心係数から検証する。対象は2006年から2013年までに左室形成術と僧帽弁形成手術を施行したNIDCM患者20例。Mwは心エコーを用いてLeeらの方法で算出した(Heart and circulatory physiology. 2003;284:H744-750)。左室前方拍出量は左室流出路のTVIと心拍数から算出した。

【結果】術前左室拡張末期径は75±11 mm、左室駆出率は27±9%であった。術後一年生存率は58%であった。予後規定因子は単変量解析では術前左室駆出率、術前Mwが有意であり多変量解析ではMwのみが独立した危険因子であった(ハザード比:0.936, 95%CI: 0.894-0.980, P=0.005)。Mw≥42(一年生存のMwカットオフ値)群で(前方拍出)心係数の増加がより顕著であり、術後正常化している症例が多かった(図)。

【結論】Mw≥42群ではこれまでの手術戦略でよいかもしれないが、Mw<42群では限界があり、今後左室前方拍出をより改善させるような手術戦略が求められる。

Change in cardiac index (forward stroke)



抄録集 7月3日(日)

拡張型心筋症モデル犬におけるドブタミン投与時のVFMを用いた左心室内血流動態解析

松浦功泰^{1,2} 合屋征二郎¹ 横田俊輝¹ 和田智樹³ 田中綾¹

1 東京農工大学獣医外科学研究室

2 白石動物病院

3 さくら動物病院

【はじめに】第4回血流会において我々はVFMの解析により得られた正常犬の収縮期における中隔側への渦の循環(収縮期最大循環)を分析した結果を報告した。収縮期最大循環がドブタミン増量とともに上昇したこと、観血的に計測した心収縮能の指標と高い相関を示したことから収縮能の良い指標であることが示されたが、臨床現場における有用性を示すためには収縮能の低下した個体における評価が必要となる。今回我々は収縮能の低下した拡張型心筋症モデル犬を用いてVFMの有用性を検討した。

【方法】頻脈誘発性心筋症モデル犬(n=6)を高度右室ペーシングにより作成した。全身麻酔下にて圧-容積コンダクタンスカテーテルを頸動脈から左心室に挿入し、ドブタミン投与量を変化させ、左心室圧容量データ計測および超音波VFM計測を行った。

【結果】視覚的なVFM評価ではドブタミン非投与時は渦の発生が心基底部側に限局しているのに對し、ドブタミン投与を行った場合には增量に伴い渦の発生が心尖部付近まで広がる様子が観察された。また、ドブタミン投与量に関わらず左室内の血流ベクトルの方向にばらつきが見られた点が正常犬とは異なっていた。収縮期最大循環はdP/dt maxと非常に強い相関(R=0.81)が認められたが、僧帽弁逆流速波形から得たdP/dt(R=0.79)、僧帽弁輪部運動速波形の収縮期波(Sm)(R=0.77)と比べて同程度であった。

【考察】収縮期最大循環は、収縮不全モデル犬においてもカテーテルにより得られた収縮能の指標と良好な相関を示し、またdP/dtやSmなど他の収縮能の指標と比べても有用な評価法であることが明らかとなった。渦の発生がドブタミンの增量に伴って心尖部付近まで広がっていくことは、モデル犬の血流動態がドブタミン投与によって改善されたことを表していると考えられた。血流ベクトルの方向性のばらつきはモデル犬の非効率的な血流動態を表していると考えられた。しかしこのばらつきはドブタミン投与によっても改善せず、このような血流動態をより効率的に改善する治療の検討が課題となつた。

