

血液のヘモグロビン値と CT 値 死体における比較検討

樋口 涼子

新潟大学医歯学総合研究科 地域疾病制御医学専攻地域予防医学大講座 法医学分野専攻
(主任：高塚 尚和教授)

Hemoglobin level and CT value of blood: A comparative study in cadavers

Ryohko HIGUCHI

*Division of Forensic Medicine, Niigata University Graduate School of Medical and Dental Sciences
(Director: Prof. Hisakazu Takatsuka)*

要 旨

背景と目的：これまでの研究では血液のヘモグロビン (Hb) 値と CT 値には正の相関があると報告されている。しかしそれらは生体を対象にした研究であり、CT 測定と血液サンプリングは、異なる部位および時間で行われていた。今回は死体血を用いて Hb 値と CT 値との間に相関関係があるかどうかを検証する。

材料と方法：2017～2019 年に教室で行われた法医学解剖例のうち 67 例から血液を採取した。採取部位は大動脈基部、下行大動脈、右心房の 3 部位で、合計 174 の血液サンプル (大動脈基部 60 例、下行大動脈 58 例、右心房 56 例) が得られた。それぞれについて Hb 値測定後、すぐに 20ml ポリプロピレンチューブに容れたままで CT 撮影を行い CT 値を求めた。5 症例 15 検体については CT 値の計測を著者の他に放射線科医、法歯科医の計 3 人で行い検者間信頼性の評価をし、更に著者が同一検体について 3 回 CT 値の計測を繰り返し検者内信頼性の評価を行った。大動脈基部、下行大動脈、右心房それぞれの Hb 値における ANOVA 検定と Tukey 法を用いた多重比較を行い、それぞれの Hb 値と CT 値については単回帰分析を行った。

結果：級内相関係数 (ICC) により、CT 値測定の検者内信頼性及び検者間信頼性を得ることができた。下行大動脈の Hb 値は他の部位と比して有意に高値を示した。大動脈基部、下行大動脈、右心房の血液すべてにおいて Hb 値と CT 値の強い正の相関が認められた。

考察と結論：これまで生体を対象に行われてきた Hb 値と CT 値の関係における研究を今回は死体を用いて行った。それにより大血管からサンプリングした血液そのものの Hb 値と CT 値をほぼ同時に比較検討することができた。その結果、死体であっても血液の CT 値は Hb 値に依存し、死亡に伴って個体差が出るような他の因子は X 線吸収にほとんど影響ないことが示唆された。

死後 CT において、主要な血管や心腔など血液で満たされた腔では背側に液面形成を伴う高吸収域を呈することがあるが、この現象は血液の成分が重力によって分離され血球成分が背側に沈降 (血液就下) するためと考えられている。この高吸収域では Hb 値がより高値であること

Reprint requests to: Ryohko HIGUCHI
Division of Forensic Medicine,
Niigata University Graduate School of
Medical and Dental Sciences,
1-757 Asahimachi-dori, Chuo-ku,
Niigata 950-8510, Japan.

別刷請求先：〒 951-8510 新潟市中央区旭町通 1-757
新潟大学大学院医歯学総合研究科 法医学分野
樋口 涼子

が本研究結果より示された。下行大動脈は身体の背側に位置するため、仰臥位で静置された死体においては今回測定した3部位のうち最も低位にあり、下行大動脈のHb値が高値になったのは血球の沈降によって生じたと考えられる。

キーワード：Hb値，CT値，死体血，血液就下

序 文

これまでの研究では、血液のヘモグロビン (Hb) 値とCT値との間に正の相関関係が報告されている^{1)–8)}。しかしそれらの研究では、末梢血のHb値と心腔内または大血管内のCT値を比較しており、Hb値測定とCT値測定は、異なる部位の血液で行われたこととなる。さらに、CT撮影と採血には最大1週間の時間差がある研究もあった¹⁾。これらのことから、これまでの研究で比較された血液サンプルは同一個体由来であるものの、完全に同一のサンプルで測定されたとは言えない。また、これまでの研究は全て生体におけるものであり、死体の血液を用いた同様の研究はない。本研究の目的は、死体の血液Hb値とCT値を同一の血液サンプルで測定しその関連性を調べることである。

材料と方法

本研究は、新潟大学倫理委員会で承認された(2017–0368)。死体の血液サンプルは、2017～2019年に教室で行われた法医解剖例のうち67例(男性41名、女性26名、32～95歳、平均67.7歳)、死亡から剖検までの期間は1～60日(平

均6.2日)で、死因は焼死が31例と最も多く、次いで窒息や溺水、その他内因死や外傷死などであった(表1)。解剖時に大動脈基部、下行大動脈、右心房の3部位を穿刺して20mlポリプロピレンチューブに血液を吸引採取し、CO-Oximeter (AVOXimeter[®] 4000, International Technidyne Corporation, New Jersey, USA)を用いHb値の測定を行った。測定は3回行い、その平均値を血液のHb値と定義した。ここまでで(a)採取できた血液が10ml以下、(b)凝血塊を含んだ血液、(c)Hb値が測定範囲外(4g/dl以下または25g/dl以上)の血液については、本研究対象から除外した。その結果、67例から合計174の血液サンプル(大動脈基部60例、下行大動脈58例、右心房56例)についてCT撮影を行った。

血液のCT撮影は、Hb値測定後すぐにチューブに容れたままで行った。CT装置は、16列多列検出器のDual-Energy CT (SOMATOM Scope Power Ai Edition; Siemens Medical Solutions, Forchheim, Germany)を用いて行った。撮像条件は、管電圧130kV、管電流自動設定(30～500mA)、回転時間0.4秒、軸方向スライス厚0.6mmで情報を収集し、スライス厚1.25mmで再構成した。

CT撮影で得られたDICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) データから、血液のCT値 (HU: Hounsfield Unit) の計測を行った。DICOMビューア (OsiriX; Pixmeo, Geneva, Switzerland) を用いて、多断面再構成法 (MPR: Multi Planar reconstruction) により血液の中央付近を通るスライス厚10mmの短軸像を作成し、円形に画像化された血液の中心に面積1.0cm²の円形の関心領域 (ROI: Region of Interest) を設定した(図1)。CTを3回施行してそれぞれにROIを設定し、その平均CT値を血液のCT値と定義した。得られた血液のHb値とCT値について、統

表1 死因の内訳

死因	症例数
焼死	31
窒息	6
溺水	5
呼吸不全	2
急性循環不全	2
慢性心不全	2
その他	19
計	67

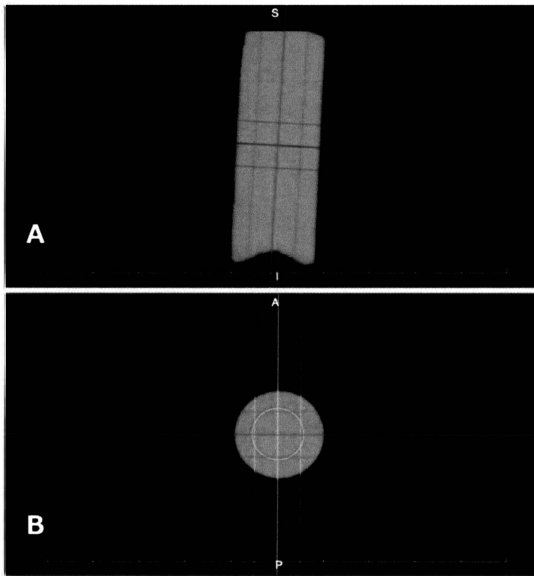


図 1 A：MPR 長軸像 B：MPR 短軸像（10 mm 厚）
B に 1.0 cm² の円形 ROI を設定した。

計解析ソフト (R バージョン 4.1.1) を用いて大動脈基部、下行大動脈、右心房それぞれの Hb 値における ANOVA 検定と Tukey 法を用いた多重比較を行い、それぞれの Hb 値と CT 値については単回帰分析を行った。P < 0.05 を統計的に有意とした。また 5 症例 15 検体については CT 値の計測を著者の他に放射線科医、法歯科医の計 3 人で検者間信頼性の評価をし、更に著者が同一検体について 3 回 CT 値の計測を繰り返し検者内信頼性の評価を行った。

結 果

級内相関係数 (ICC) により、CT 値測定 of 検者内信頼性及び検者間信頼性を得ることができた (表 2)。

表 2 検者内信頼性及び検者間信頼性に関する級内相関係数 (ICC) を用いた統計解析の結果

	ICC	95%CI	P value
intra-observer	1.0000	0.9999-1.0000	P < 0.001
inter-observer	0.9999	0.9998-1.0000	P < 0.001

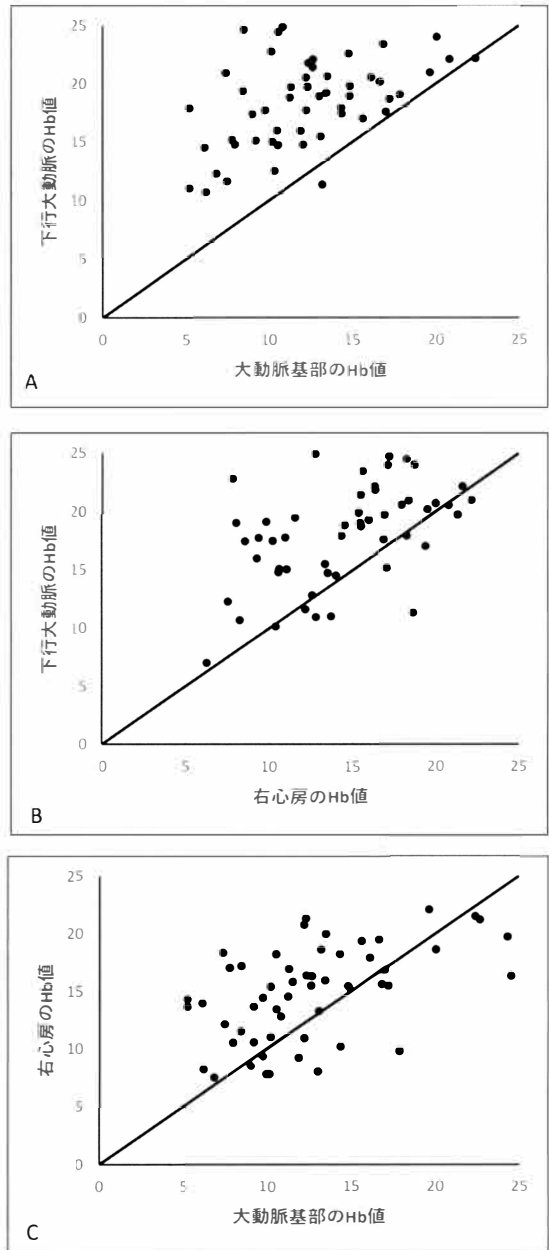


図 2 各血管から採取した血液の Hb 値の散布図
A. 大動脈基部と下行大動脈
B. 右心房と下行大動脈
C. 大動脈基部と右心房

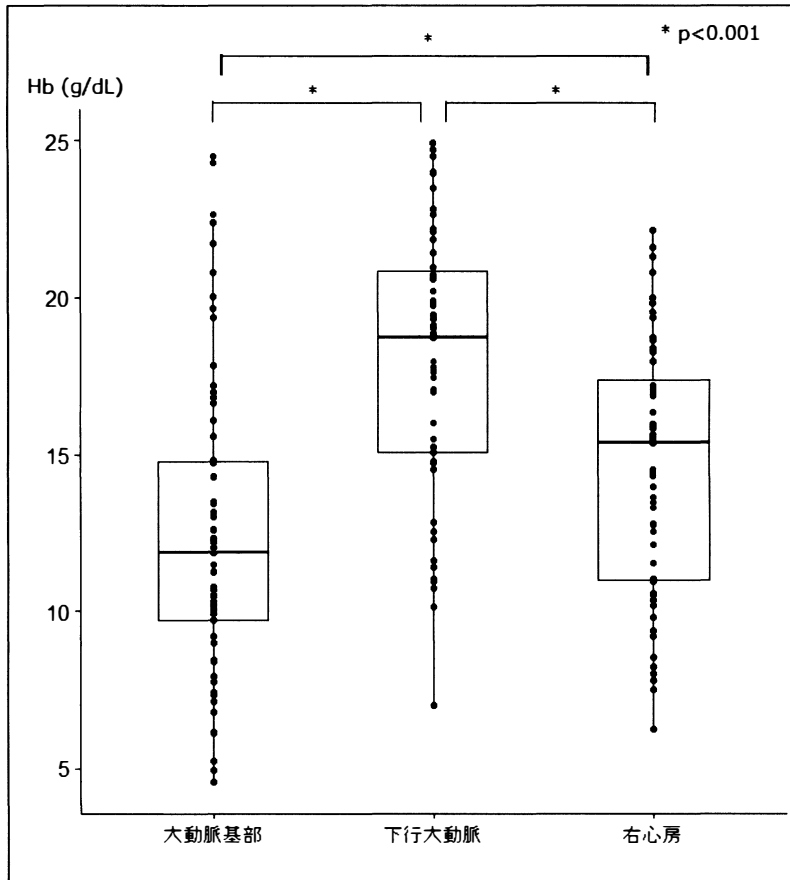


図3 各血管から採取した血液のHb値

Hb値は大動脈基部で4.6～24.5 g/dl, 平均12.9 g/dl, 下行大動脈で7.0～24.9 g/dl, 平均18.0 g/dl, 右心房で6.3～22.1 g/dl, 平均14.8 g/dlであった(図2A, B, C). 大動脈基部, 下行大動脈, 右心房のHb値におけるANOVA検定の結果は $P < 0.001$ であり, Tukey法を用いた多重比較では大動脈基部と下行大動脈($P < 0.001$), 下行大動脈と右心房($P < 0.001$), 大動脈基部と右心房($p < 0.001$)でそれぞれに有意差が認められた(図3).

CT値は大動脈基部で29.9～67.0 HU, 平均

47.7 HU, 下行大動脈で39.4～69.7 HU, 平均56.2 HU, 右心房で39.3～67.5 HU, 平均53.5 HUであった. 大動脈基部のCT値(CT_s)とHb値との関係は $CT_s = 1.71 * Hb + 25.6$, 相関係数Rは0.968であった(図4A). 下行大動脈のCT値(CT_i)とHb値の関係は $CT_i = 1.65 * Hb + 26.5$, 相関係数Rは0.950であった(図4B). 右心房のCT値(CT_r)とHb値の関係は $CT_r = 1.76 * Hb + 27.5$, 相関係数Rは0.937であった(図4C).

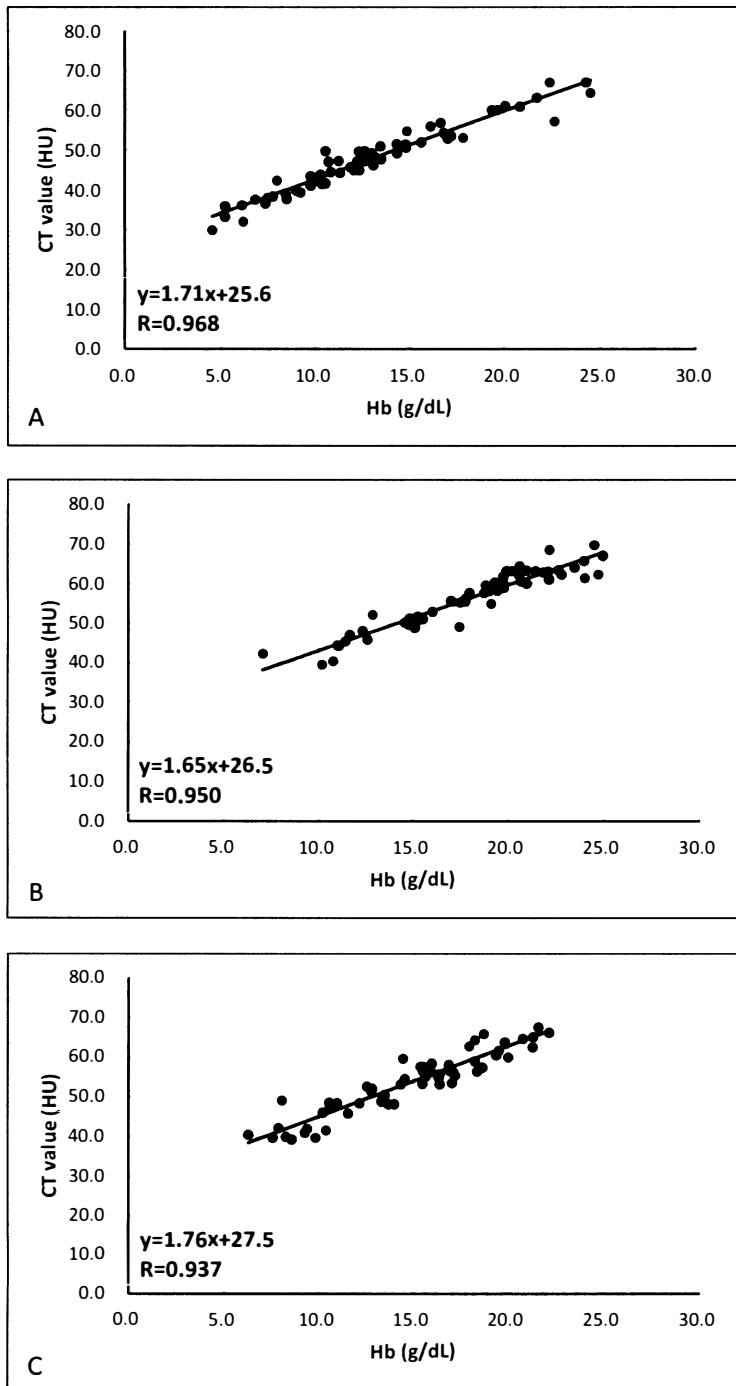


図4 Hb値とCT値の関係
A. 大動脈基部 B. 下行大動脈 C. 右心房

考 察

単純CTにおいて、貧血状態では心筋と心腔や大動脈輪と血管腔のコントラストが増強することが知られており、視覚的評価として貧血診断に活用されてきた²⁾³⁾⁵⁾⁷⁾。しかし視覚的評価だけでは不正確になりやすく、観察者間のばらつきが大きくなるため客観的に貧血を評価しようとCT値に着目した多くの研究がなされ、それらの結果では末梢血Hb値と心腔または大血管のCT値における正の相関が証明されている¹⁾⁸⁾。ただしこれらの研究は生体を対象にしたものであり、CT測定と血液サンプリングは、異なる部位および時間で行われていた。Newらは血液を遠心分離器にかけ、得られた赤血球を生理食塩水で洗浄したものをを用いてCT値測定を行っていたが⁹⁾、今回の研究では、死体を用いることによって大血管からサンプリングした血液そのもののHb値とCT値をほぼ同時に比較検討することができた。その結果、大動脈基部、下行大動脈、右心房の血液それぞれにおいてHb値とCT値の強い正の相関が認められた。血液のX線吸収は主にHbの多寡によって決定されると考えられており²⁾、生体における血液のCT値はHb値に依存すると言える。一方、死因が与える血液の変化(例えば焼死における一酸化炭素濃度上昇など)や血液の死後変化によって、生体では一定範囲内にあるようなHb以外の因子が死体血では多様に変化している。これらの因子がX線吸収に与える影響についてはこれまで検討されておらず、Hb以外の因子が血液のCT値にどの程度影響するのかわ不明であった。本研究の相関係数はいずれも高値を示しており、死体であっても血液のCT値はHb値に依存し、死亡に伴って個体差が出るような他の因子はほとんど影響しないことが示唆された。

死体血では死後変化のため血漿成分が血管外に漏出し、血液が濃縮された結果Hb値の上昇がみられる¹⁰⁾。今回の研究では下行大動脈のHb値は他と有意差を持って高値を示し、解剖学的に直接連続している大動脈基部との比較では2例を除いた50例で下行大動脈が高値であった。しかし、

下行大動脈で血漿成分の血管外漏出が大動脈基部や右心房よりも多量に生じるとは考え難く、この血漿成分の血管外漏出による血液の濃縮は下行大動脈でHb値が高値となった原因としては合理的ではない。一方、死後CTにおいて、主要な血管や心腔など血液で満たされた腔では背側に液面形成を伴う高吸収域を呈することがあるが、この現象は血液の成分が重力によって分離され血球成分が背側に沈降(血液就下)するためと説明されている¹¹⁾。本研究結果からこの死後CTの現象は、背側の高吸収域では血液のHb値がより高値になっていることが示された。下行大動脈は身体の背側に位置するため、仰臥位で静置された死体においては今回測定した3部位のうち最も低位にあり、死後CTにおいて高吸収域が背側に生じるという現象を考えると、下行大動脈のHb値が高値になったのは血球の沈降によって生じたと考えることが合理的であろう。

この研究の限界として、対象症例が限られていることがあげられる。特に個々の死因の症例数が限られたため、死因別の検討が行えなかった。今後、症例数を増やして、死因別に検討すれば、新たな結果が得られる可能性がある。

結 論

死体であっても血液のCT値はHb値に依存し、死亡に伴って個体差が出るような他の因子はX線吸収にほとんど影響しないことが示唆された。下行大動脈のHb値が他と比して有意に高値となったのは死後に血液就下が起こったためと考えられる。

謝 辞

本論文の作成にあたり、終始適切な助言を賜り、また丁寧に指導してくださった新潟大学大学院医歯学総合研究科法医学分野の高塚尚和教授、舟山一寿先生、葛城梨江香先生、新潟大学大学院保健学研究科放射線技術科学分野の高橋直也教授、新潟大学医学部メディカルAIセンター バイオインフォマティクス分野の奥田修二郎教授、凌一葦先生に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 越智誠：血液のCT値とヘモグロビン値・ヘマトクリット値－臨床例での比較検討－. 臨床放射線 62 : 307-309, 2017
- 2) 佐藤洋一, 小澤栄人, 佃俊二, 天沼誠：CTを用いた貧血診断の可能性. 日本医学放射線学会雑誌 64 : 394-397, 2004.
- 3) Qing-Qing Zhou, Yu-Sheng Yu, Yu-Chen Chen, Bi-Biao Ding, Si-Yue Fang, Xianfeng Yang, Bing Zhang, Hong Zhang : Optimal threshold for the diagnosis of anemia severity on unenhanced thoracic CT: A preliminary study. Eur J Radiol 108 : 236-241, 2018.
- 4) Xingwang Wu, Wanqin Wang, Le Wang, Bin Liu, Yongqiang Yu, Shuai Zhang, Na Gao , Yun Shen : A study of CT monochromatic imaging for quantitative detecting hemoglobin levels. J Xray Sci Technol 20(4) : 483-488, 2012.
- 5) Rachel S. Title, Keith Harper, Erik Nelson, Tom Evans, Richard Tello : Observer performance in assessing anemia on thoracic CT. AJR Am J Roentgenol 185(5) : 1240-1244, 2005.
- 6) Michelle Foster, Robert L. Nolan, Min Lam : Prediction of anemia on unenhanced computed tomography of the thorax. Can Assoc Radiol J 54(1) : 26-30, 2003.
- 7) Ehab M Kamel, Elena Rizzo, Michel A Duchosal, Rafael Duran, Vasco Goncalves-Matoso, Pierre Schnyder, Salah D Qanadli : Radiological profile of anemia on unenhanced MDCT of the thorax. Eur Radiol 18(9) : 1863-1868, 2008.
- 8) Hai Lan, Sadamitsu Nishihara, Hiromu Nishitani : Accuracy of computed tomography attenuation measurements for diagnosing anemia. Jpn J Radiol 28(1) : 53-57, 2010.
- 9) P F New, S Aronow : Attenuation measurements of whole blood and blood fractions in computed tomography. Radiology 121(3 Pt. 1) : 635-640, 1976.
- 10) 上村公一：死後の血液検査の妥当性－生化学検査を中心として. 医学のあゆみ 234(3) : 223-226, 2010.
- 11) C Jackowski, M Thali, E Aghayev, K Yen, M Sonnenschein, K Zwygart, R Dirnhofer, P Vock : Postmortem imaging of blood and its characteristics using MSCT and MRI. Int J Legal Med 120(4) : 233-240, 2006.

(令和3年10月26日受付)