

令和 2 年 4 月 9 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K19428

研究課題名（和文）ヒト以外の哺乳類における鼻腔の生理学的機能に関するシミュレーションモデルの開発

研究課題名（英文）Developing the simulation model for evaluating the air-conditioning feature in the nasal passages of non-human mammals

研究代表者

西村 剛（Nishimura, Takeshi）

京都大学・霊長類研究所・准教授

研究者番号：80452308

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：鼻腔は呼吸気の温度や湿度を調整する器官である。陸生哺乳類では、鼻腔領域は、それぞれの生息環境に適応的な形態進化があったと考えられている。数値流体力学的シミュレーションは、鼻腔内の気温分布を直接観測することなく推定する有力な手法である。本研究では、ニホンザルを対象に、まず鼻腔内の空気の温度分布を直接観測した。その観測データを使って、ヒト用に開発されたシミュレーションモデルにおける鼻腔壁面モデルを補正する手法を検討した。体重値に基づき、壁面モデルの各種パラメーターを補正したところ、実測値に対してより良いシミュレーション結果を得た。体重データを用いたこの簡便な補正手法は、他の哺乳類でも応用できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鼻腔は、嗅覚の最末梢の器官であるとともに、吸った外気の温度や湿度を調整する機能をも有しており、健康と生命維持にとって重要な生理学的機能を担っている。多様な環境に生息する陸生哺乳類は、それぞれの生息地の気温・湿度環境に適応して鼻腔形態を進化させてきたと考えられている。しかし、その調整機能を直接評価する手段がなかった。本研究は、直接観測することなく、数値流体力学的シミュレーションにより鼻腔内の気温を正確に推定する手法を開発した。この手法により、多様な哺乳類での鼻腔機能の直接比較が可能となり、鼻腔領域の形態がどのような機能的適応を経て進化してきたのかを知るのに大いに貢献すると期待する。

研究成果の概要（英文）：Nasal passages conditions respiratory air. The nasal regions of terrestrial mammals are believed to have experienced anatomical modifications that are adaptive to effective conditioning of the atmosphere air in the habitat for a given species. Computational fluid dynamics (CFD) simulation is a potential approach for examining the temperature profile in the nasal passage without any direct measurements. To provide basic data for developing an animal CFD model, we measured the distribution of temperature within the nasal cavity in Japanese macaques, *Macaca fuscata*. We used the computation model developed for humans and examined corrections for the developed wall model based on human properties for predicting its performance in Japanese macaques. The corrections for body mass influenced parameters and improved the predictions for macaques. This convenient corrective approach can be applied to other non-human mammals to improve our understanding of the evolution of their nasal regions.

研究分野：自然人類学

キーワード：鼻腔 温度調整 数値流体力学 シミュレーション 霊長類

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

鼻腔は、嗅覚の最末梢の器官である。それに加えて、吸った外気の温度や湿度を調整する機能をも有しており、健康と生命維持にとって重要な生理学的機能を担っている。嗅上皮は鼻腔上部にあって、全鼻腔壁面の数パーセントしか占めていないが、呼吸上皮はその他すべてを占める。外気から取り込まれたニオイ物質が、嗅上皮にある嗅細胞につくことで、ニオイが知覚される。一方、取り込まれた吸気が鼻腔内を流れる過程で、呼吸上皮の表面に触れることで、粘膜と空気の間で熱と水が交換され、吸気の温度は体温近くに、(相対)湿度は 100% へと調節される。このように、嗅覚の鋭敏さや温度・湿度調節の効率は、外気が鼻腔内をどう流れるかに大きく影響される。

頭蓋内部にある鼻腔は、形態分析のアプローチが困難であるだけでなく、気流はもとより温度や湿度の実測が技術的に困難である。そこで、ヒトでは、数値流体力学的計算によりシミュレーションし、それらをコンピューター上で可視化する研究が進んでいる。シミュレーションでは、CT や MRI など医用画像データを用いて作成された鼻腔のデジタル形態データをもとに、まず形状依存の気流が計算され、その気流に沿った温度や湿度分布が計算され、コンピューター上で可視化される。

哺乳類の鼻腔形態の変異は、嗅覚や温度・湿度調節能力に関する機能適応の結果として論じられることが多い。しかし、その形態適応の進化仮説を検証する実証的証拠はほとんど無い。ヒト以外の哺乳類でも、鼻腔の形態適応を明らかにするうえで、数値流体力学的シミュレーションが有用であるのは論を待たない。良質な標本を確保できれば、CT や MRI を利用して、鼻腔のデジタル形態データが作成できる。しかし、シミュレーションの計算モデルには、鼻腔の粘膜構成等の組織学的データが必要である。ヒト以外の哺乳類では、標本や検体が希少であり、それを破壊することなく組織学的なデータを収集する手法が必要とされる。さらに、そのような手法で得られた基礎データをもとに、果たして正確なシミュレーション結果を出す計算モデルが作成できるのか。その手法の確立が、喫緊の課題である。

2. 研究の目的

ヒト以外の哺乳類における鼻腔の形態進化の適応的意義を明らかにするために、鼻腔内の気流と温度・湿度調節に関する数値流体力学的シミュレーションの計算モデルを開発する。

3. 研究の方法

本研究計画では、鼻腔の生理学的機能の多様性に富んでいるニホンザルをモデル動物として、数値流体力学的シミュレーションの計算モデルを開発する手法を確立する。京都大学霊長類研究所にてニホンザル生体を対象に、鼻腔内の定点における鼻腔内気体の温度を計測した。X 線テレビを用いて鼻腔内の温度計測地点を確認しながら、サーミスタ温度計測装置により、複数地点での空気温度を実測した。合わせて、温度を実測した個体を CT で撮像し、鼻腔の三次元デジタル形状データを取得した。シミュレーション計算モデルの開発は、北陸先端科学技術大学院大学で開発されたヒト用モデルをベースとした。その鼻腔壁面モデルにおける熱と水の交換に関わる粘膜層のパラメーターをヒトとの体重比により、算出し、三次元デジタルデータを用いてシミュレーションを実施した。その実測値とシミュレーション値との照合により、計算モデルの正確性を検証した。

これらの手順を経て、体重値を用いて鼻腔壁面モデルを補正する手法を確立し、数値流体力学的シミュレーション計算モデルの有用性を検証した。

4. 研究成果

ヒト以外の哺乳類における鼻腔内の気流と温度・湿度調節に関する数値流体力学的シミュレーションの計算モデルを開発した。

京都大学霊長類研究所にてニホンザル生体を対象に、鼻腔内の定点における鼻腔内気体の温度を計測した。個体間の変異はあるものの、サル類でも、ヒト同様に鼻前庭で、全体の半分以上の加温が起きていることを確認した。しかし、ヒトでは咽頭鼻腔でも加温が終了しないのに対して、サル類では鼻腔中程で完全に加温が終わることを示した。サル類では、ヒトに比べて加温機能に優れていることを実測によって示した。これらの X 線テレビ画像データと実測データは、次の体重値を用いて鼻腔壁面モデルを補正する手法の基礎データとして使用した。

温度を実測した個体を CT で撮像し、鼻腔の三次元デジタル形状データを作成した。形状の個体間変異はあるものの、いずれも共通した形状特徴を有していた。外鼻孔が外側に広く開口し、鼻弁が比較的広く、そこから鼻甲介に至るまでやや空間が空き、上中下の鼻甲介の形状は単純である。また、鼻腔全体が平坦で、ヒトのような上に湾曲した軌道は見られない。

シミュレーション計算モデルの開発は、北陸先端科学技術大学院大学で開発されたヒト用モデルをベースとした。その鼻腔壁面モデルにおける熱と水の交換に関わる粘膜層のパラメーターを、ヒトの平均値とニホンザルの平均値との体重比により、補正した。つまり、層厚に相当する各パラメーターを体重比の三乗根を乗することで、体重に見合った粘膜層を算出した。鼻腔の三次元デジタルデータを用いてシミュレーションを実施し、その実測値とシミュレーション値との照合したところ、体重比に基づく補正を行ったシミュレーション結果は、ヒトのパラメーターをそのまま使ったものや、体重比に基づかない補正の結果よりも、優れていた。

これら鼻腔壁面モデルの補正手法により、ある陸生哺乳類についてその鼻腔の三元形状データと体重データがあれば、その鼻腔内の気流と温度・湿度調節能力を比較的正確にシミュレーションできる。この成果は、哺乳類の鼻腔形態の変異と、嗅覚や温度・湿度調節能力に関する機能適応に関する比較研究に大きく資する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nishimura T & Kaneko A	4. 巻 60
2. 論文標題 Temperature profile of the nasal cavity in Japanese macaques	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Primates	6. 最初と最後の頁 431-435
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10329-019-00741-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Nishimura T
2. 発表標題 Computed fluid dynamics of air conditioning in the nasal cavity in primates
3. 学会等名 The Swiss-Kyoto Symposium: Recent Advancement in Physical Anthropology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西村剛
2. 発表標題 霊長類における鼻腔の形態進化と温度・湿度調節機能の適応
3. 学会等名 第19回日本進化学会大会（招待講演）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	森 太志 (Mori Fitoshi) (20633556)	岩手医科大学・医歯薬総合研究所・助教 (31201)	