人間工学的手法による
木製椅子の快適性評価と機能設計に関する研究（第7報）
重力、圧迫、関節角度が下肢の血行動態に与える影響

安藤 敏弘[*1]、藤巻 吾朗[*1]、成瀬 哲哉[*1]、坂東 直行[*1]、堀部 哲[*2]

Research on Comfort Evaluation and Function Design of Wooden Chair
by Ergonomic Technique (VII)
Effect of Gravity,Pressure,Joint Angle on the Blood Circulation in Lower Limbs

Toshihiro ANDO[*1], Goroh FUJIMAKI[*1], Tetsuya NARUSE[*1], Naoyuki BANDO[*1] and Satoshi HORIBE[*2]

本研究では DVT 予防を考慮した椅子設計の基礎的知見を得ることを目的とし、重力、圧迫、関節角度の各要因が下肢の血行動態に与える影響の大きさについて検討した。

下肢の血行動態における生理学的メカニズムのとおり、重力および圧迫の影響では、deoxy-Hb 量と血流速度に影響があり、関節角度の影響では、血流速度に影響があった。さらに各要因の影響の大きさを推測することが出来た。今後、これらの結果を元に DVT 予防を考慮した椅子設計に活用していく予定である。

1. 緒言

長時間着座姿勢を継続することにより引き起こされる病態に深部静脈血栓症（deep vein thrombosis:DVT）があり、一般的にDVTを起こしやすい危険因子として、血液の凝固性の亢進、血液の流れの停滞、血管壁の障害の3因子が知られている[1)]。この中で着座姿勢は、重力による血液の貯留と、膝裏の圧迫や関節角度による血流の阻害によって、血液の流れの停滞が起こりやすいと考えられる。昨年度は、椅子角度が下肢の血行動態に与える影響について検討してきた[2)]。その結果、一般的な座位姿勢に近いと考えられる屈曲位（足90度、背90度）では、DVTのリスクファクタである静脈血流の停滞を誘発しやすい条件にあることがわかった。しかしこの実験方法では、血液の貯留と血流の阻害の両因子が関係しており、それぞれの因子がどの程度影響するかを知ることは出来ない。

以上を受け、本研究ではDVT予防を考慮した椅子設計の基礎的知見を得ることを目的とし、重力、圧迫、関節角度の各要因が下肢の血行動態に与える影響ついて検討したのでここに報告する。

2. 生理学的メカニズム

2.1 重力の影響が下肢の血行動態に与える影響

体内の動静脈は、その姿勢に応じて心臓からの高さに等しい血液の静水圧の影響を受けている。座位姿勢を背臥位と比較すると、静水圧差が上昇することにより、体内の血液分布は下肢へ移動することになる。そのため静脈壁は伸展性が大きいので壁が引きのばされ、内腔が広がり多量の血液を貯留し、静脈環流量を減少させる結果となりやすい[3)]。さらに下肢の静脈圧が上昇することにより、毛細血管内圧が上昇する。これにより血管内から間質への水分露出が起こり、むくみや鬱血が起こりやすいと言われている。

2.2 圧迫が下肢の血行動態に与える影響

座位姿勢時において、足が床面に届かず座面前縁により吊り下げられる場合、大腿部の骨より下の軟組織は4分の1以下に圧縮されるという報告がある[4)]。静脈壁は、その伸展性により外力の影響を受けると変形しやすい。前述のような状態の場

[*1] 試験研究部（シミュレーション研究室）
[*2] 試験研究部長

合、大腿静脈が圧迫により狭くなり、静脈環流量を減少させる結果となりやすい。さらに膝裏には毛細血管が集中しており、圧迫の影響を受けることにより、静脈環流量を減少させる結果となりやすいと言われている。

2.3 関節角度が下肢の血行動態に与える影響

下肢の静脈は鼠径部で鼠径靭帯と呼ばれる膜を通り、外腸骨静脈となる。それゆえ股関節角度の90度以上の屈曲は、鼠径靭帯による圧迫を受けるため、静脈は狭くなり静脈環流量を減少させる結果となりやすいと言われている。また同様のことは膝関節角度の屈曲においても当てはまる[5)]。

2.4 各要因が下肢の血行動態に与える影響

上述した各要因が下肢における静脈血量と血流速度に与える影響について表1にまとめる。表1より関節角度の影響が静脈血量に与える影響はないが、これは静脈の変形による血流阻害では下肢からの血液流出量が減少するため、環流量も減少し、流入量も減少することになる。よって、静脈血量に与える影響は少ないと考えられるためである。

表1 各要因が下肢の血行動態に与える影響

	静脈血量	血流速度
重力の影響	ある	ある
圧迫の影響	ある	ある
関節角度の影響	ない	ある

3. 方法

生理的負担の指標として、近赤外線分光法を用いてヘモグロビン量を計測した。また、超音波ドップラ法を用いて血流速度を計測した。実験条件は、重力の影響、圧迫の影響、関節角度の影響の3つとした。被験者は20～30代の健常な男性6名を対象とした。被験者の身体特性について表2に示す。また各実験の詳細を次に示す。

表2 被験者の身体特性

No.	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	BMI
1	24	165.0	57.0	20.94
2	32	174.5	59.0	19.38
3	29	176.0	59.0	19.05
4	31	163.0	55.0	20.70
5	26	180.0	70.0	21.60
6	22	165.0	66.0	24.24
平均	27.3	170.58	61.0	20.98

3.1 下肢の末梢循環の測定（近赤外線分光法）

各条件が下肢の末梢循環に与える影響を、近赤外線分光法（Near Infrared Spectroscopy:NIRS）にて検討した。NIRS測定器は、3波長（780nm、810nm、830nm）の2受光式レーザー組織血液酸素モニタ（BOM-L1TRW　オメガウェーブ社）を用い、酸素化ヘモグロビン量（oxy-Hb）と脱酸素化ヘモグロビン量（deoxy-Hb）の変化を、サンプリング周波数1Hzで連続的に計測した。測定部位は両足下腿後面内側の腓腹筋とし、13～30mmの深部を計測した。測定部位を図1に示す。

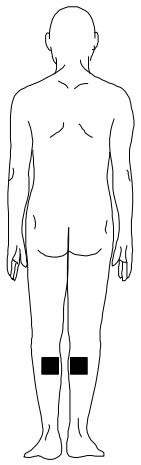

図 1 測定部位

3.2 大腿静脈の血流速度の測定（超音波ドップラ法）

各条件が下肢の静脈環流に与える影響を、超音波ドップラ法にて検討した。超音波診断装置（LOGIQ Book　ジーイー横川メディカルシステム社）とリニアプローブ（10Lb-RS　4.0MHz～10.0MHz）を用いて、血流速度を計測した。測定部位は鼠径部下方の大腿静脈とし、各条件における最頻値を代表値として記録した。測定部位を図2に示す。

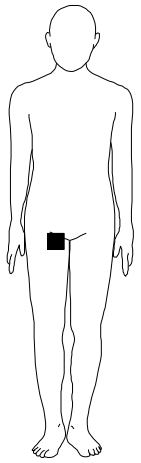

図 2 測定部位

3.3 実験手順

3.3.1 重力が下肢の血行動態に与える影響（実験1）

実験には傾斜ベッド（自作）を用いた。これはベッド角度を0度～30度まで、連続して変化させることができるベッドである。実験条件は、ベッド角度4条件（0度、10度、20度、30度）を設定した。なおベッド角度30度の条件の時、心臓と腓腹筋の高低差は約45cmとなる。これは座位姿勢時の心臓と腓腹筋の高低差とほぼ一致する。実験の様子について図3に示す。実験は各条件3分間ずつ連続して行い、各条件間には、状態をリセットする目的で、インターバル3分間（ベッド角度0度）を設定した。実験条件の順序は、被験者ごとにランダムとした。これを1回の実験とし、各被験者が両脚で2回行なったので、計24肢のデータを解析に用いた。また被験者には実験をとおして安静状態をお願いした。実験環境は室温25度、湿度40%であった（2005年11月、12月）。

図3 実験の様子（重力の影響）

3.3.2 大腿の圧迫が下肢の血行動態に与える影響（実験2）

実験には、ラピッドカフインフレータ（E20 D.E.Hokanson,Inc.(USA)）を用いた。これは0.3秒で0～300mmHgの範囲で任意に設定した圧をカフに加えることができるものである。実験条件は、圧迫力5条件（10mmHg、20mmHg、30mmHg、40mmHg、50mmHg）を設定した。実験の様子について図4に示す。実験は各条件2分間ずつ連続して行い、各条件間には、状態をリセットする目的で、インターバル3分間（圧迫力0mmHg）を設定した。実験条件の順序は、被験者ごとにランダムとした。これを1回の実験とし、各被験者が右肢で2回行なったので、計12肢のデータを解析に用いた。また被験者には実験をとおして安静状態をお願いした。実験環境は室温25度、湿度40%であった（2005年11月、12月）。

図4 実験の様子（圧迫の影響）

3.3.3 関節角度が下肢の血行動態に与える影響（実験3）

実験条件は、股関節角度3水準（0度、45度、90度）、膝関節角度3水準（0度、45度、90度）を組合せ、3×3の9条件を設定した。被験者は左腕を下に横臥位姿勢をとり、心臓高さが変化しないよう注意して実験を行った。実験の様子について図5に示す。実験は各条件3分間ずつ連続して9条件行い、これを1回の実験とした。実験条件の順序は、被験者ごとにランダムとした。これを1回の実験とし、各被験者が両脚で2回行なったので、計24肢のデータを解析に用いた。また被験者には実験をとおして安静状態をお願いした。実験環境は室温25度、湿度40%であった（2005年11月、12月）。

図5 実験の様子（関節角度の影響）

3.4 近赤外線分光法によるデータ解析の指標

近赤外線分光法による腓腹筋の血行動態の変化について、動静脈血流遮断時のヘモグロビン酸素動態変化を図6に、静脈血流遮断時のヘモグロビン酸素動態変化を図7に、筋活動時のヘモグロビン酸素動態変化を図8にそれぞれ示す。

図6は大腿部を180mmHgで圧迫することにより、擬似的に動脈と静脈の血流を遮断した時の血行動態を示している。これより、動脈からの血液流入の阻害および静脈からの血液流出の阻害が起こるため、oxy-Hbの低下およびdeoxy-Hbの増加が見られる。これは酸素供給の低下を補うための、oxy-Hbからの抜き取りの増加である。

図7は大腿部を80mmHgで圧迫することにより、擬似的に静脈の血流を遮断した時の血行動態を示している。これより、静脈からの血液流出が阻害されるため、oxy-Hbの低下をともなわないdeoxy-Hbの増加および血液貯留によるtotal-Hbの増加がみられる。

図8は爪先立ちすることにより腓腹筋の筋活動を促した時の血行動態を示している。これより、筋活動による酸素の消費が起こるため、oxy-Hbの低下およびdeoxy-Hbの増加がみられる。動脈遮断時との違いは変化が急であり、プラトーに達していることが挙げられる。

以上のことより、oxy-Hbは動脈血の血行動態を、deoxy-Hbは静脈血の血行動態を反映する指標であるものとして、以下の解析結果を解釈した。

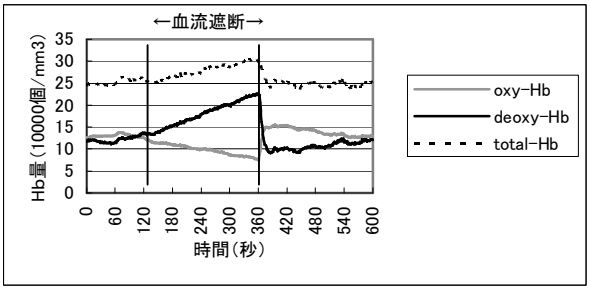

図6 動静脈遮断時のヘモグロビン酸素動態変化

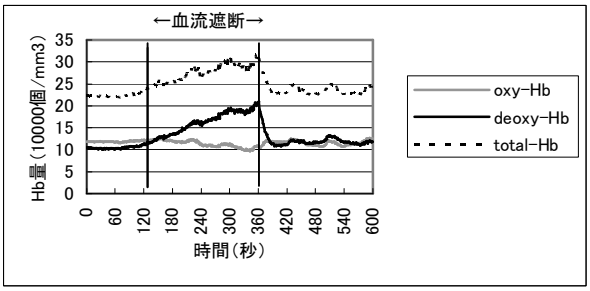

図7 静脈遮断時のヘモグロビン酸素動態変化

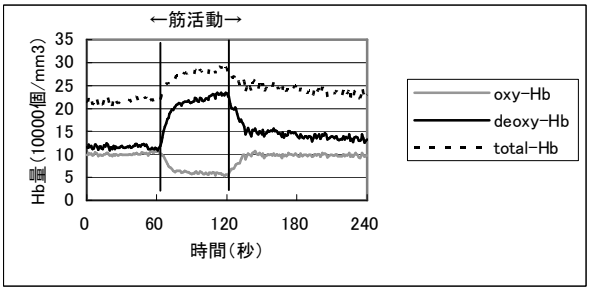

図8 筋活動時のヘモグロビン酸素動態変化

4. 結果と考察

4.1 重力が下肢の血行動態に与える影響（実験1）

4.1.1 下肢の末梢循環の測定（近赤外線分光法）

各条件変更後120秒～180秒のoxy-Hb、deoxy-Hb、total-Hb（oxy-Hb+deoxy-Hb）の平均値を算出し、ベッド角度を要因とする一元配置分散分析を行った。その結果、ベッド角度の要因の主効果が有意であった（oxy-Hb：$F=29.379$ $p<0.01$、deoxy-Hb：$F=73.480$ $p<0.01$、total-Hb：$F=12.967$ $p<0.01$）。この結果は、ベッド角度が、腓腹筋のoxy-Hb、deoxy-Hb、total-Hbに影響を与えたことを示している。ここでベッド角度0度を100%として、各条件の平均値を相対値に変換した変化率を図9、10、11に示す。図9、10、11よりoxy-Hbは、ベッド角度が傾斜するほど減少し、deoxy-Hbとtotal-Hbは、ベッド角度が傾斜するほど増加している。このことから、下肢の静脈鬱血が最も少ない条件は、背臥位（ベッド角度0度）であり、ベッド角度が傾斜するほど、血液が貯留しやすいことが推察される。

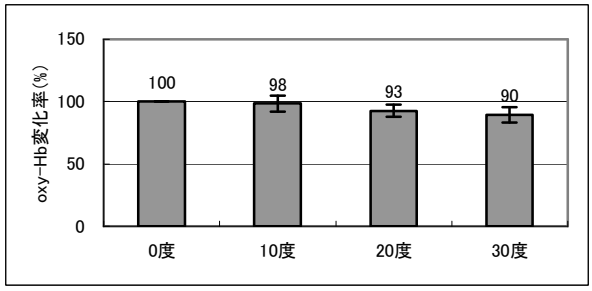

図9 oxy-Hbの変化率（実験1）

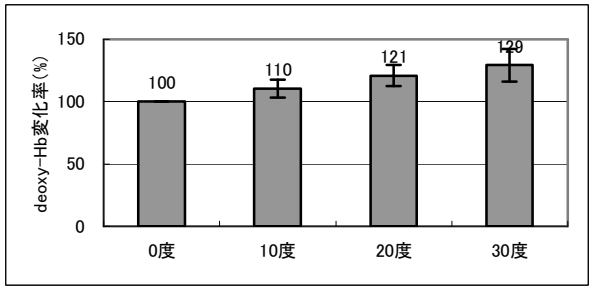

図10 deoxy-Hbの変化率（実験1）

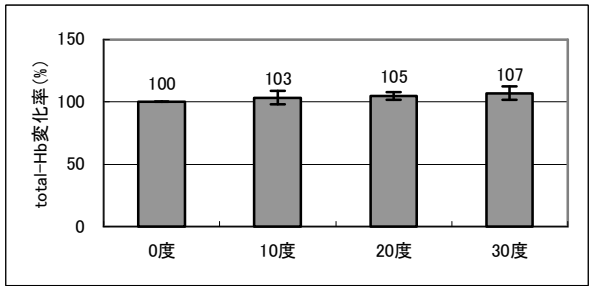

図11 total-Hbの変化率（実験1）

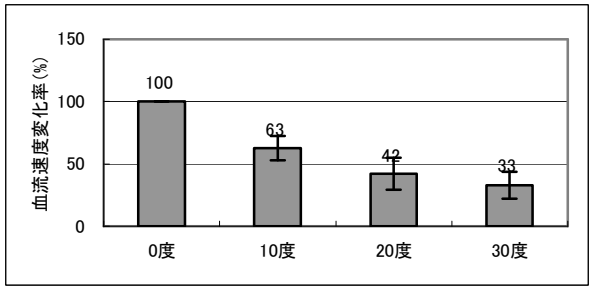

図12 最高血流速度の変化率（実験1）

4.1.2 下肢の末梢循環の測定（超音波ドップラ法）

ベッド角度を要因とする一元配置分散分析を行った。その結果、ベッド角度の要因の主効果が有意であった（$F=23.215$ $p<0.01$）。この結果は、ベッド角度が、鼠径部の大腿静脈血流速度に影響を与えたことを示している。ここでベッド角度0度を100%として、各条件の平均値を相対値に変換した変化率を図12に示す。図12より、ベッド角度 0度の条件において、大腿静脈血流速度が最も速く、30度の条件で最も遅くなる。このことから、下肢

の静脈血流速度が最も速い条件は、背臥位（ベッド角度0度）であり、ベッド角度が傾斜するほど、下肢から心臓への静脈環流が低下しやすいことが推察される。

4.2 大腿の圧迫が下肢の血行動態に与える影響（実験2）

4.2.1 下肢の末梢循環の測定（近赤外線分光法）

各条件変更後120秒～180秒のoxy-Hb、deoxy-Hb 、total-Hb（oxy-Hb+deoxy-Hb）の平均値を算出し、圧迫力を要因とする一元配置分散分析を行った。その結果、deoxy-Hbとtotal-Hbの圧迫力の要因の主効果が有意であった（deoxy-Hb : F=23.650 p<0.01、total-Hb : F=22.284 p<0.01）。この結果は、ベッド角度が、腓腹筋のdeoxy-Hbとtotal-Hbに影響を与えたことを示している。ここで圧迫力0mmHgを100%として、各条件の平均値を相対値に変換した変化率を図13、14、15に示す。図13よりoxy-Hbの変化には、傾向がみられなかった。このことから、条件設定した圧迫力50mmHgでは、動脈に影響が無いことが推察される。図14、15よりdeoxy-Hbとtotal-Hbは、圧迫力が大きくなるほど増加している。このことから、下肢の静脈鬱血が最も少ない条件は、圧迫力0mmHgであり、圧迫力が増加するほど、血液が貯留しやすいことが推察される。

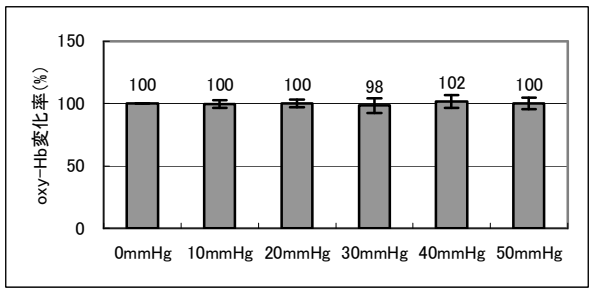

図13 oxy-Hbの変化率（実験2）

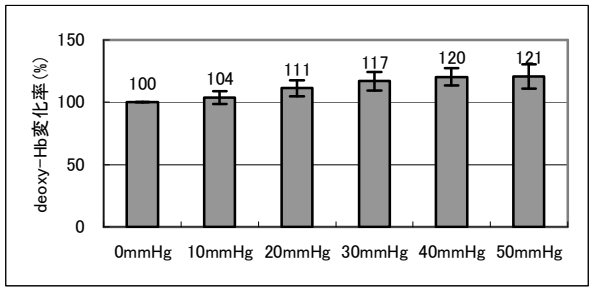

図14 deoxy-Hbの変化率（実験2）

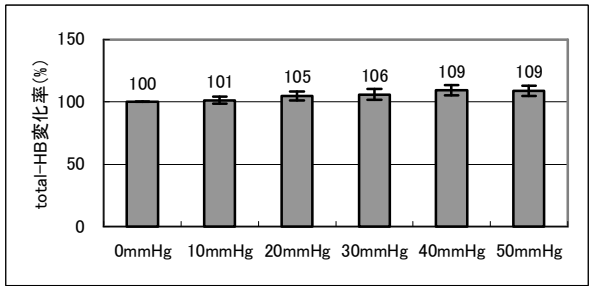

図15 total-Hbの変化率（実験2）

4.2.2 下肢の末梢循環の測定（超音波ドップラ法）

圧迫力を要因とする一元配置分散分析を行った。その結果、圧迫力の要因の主効果が有意であった（F=30.241 p<0.01）。この結果は、圧迫力が、鼠径部の大腿静脈血流速度に影響を与えたことを示している。ここで圧迫力0mmHgを100%として、各条件の平均値を相対値に変換した変化率を図16に示す。図16より、圧迫力0mmHgの条件において、大腿静脈血流速度が最も速く、圧迫力50mmHgの条件で最も遅くなる。このことから、下肢の静脈血流速度が最も速い条件は、圧迫力0mmHgであり、圧迫力増加するほど、下肢から心臓への静脈環流が低下しやすいことが推察される。

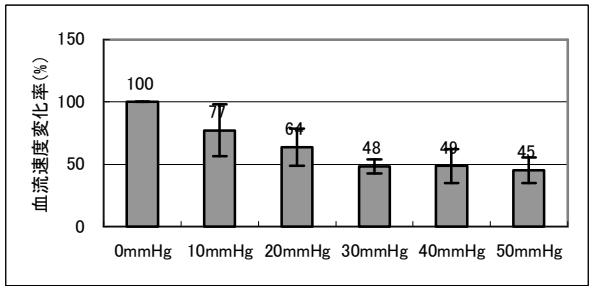

図16 最高血流速度の変化率（実験2）

4.3関節角度が下肢の血行動態に与える影響（実験3）

4.3.1 下肢の末梢循環の測定（近赤外線分光法）

各条件変更後120秒～180秒のoxy-Hb、deoxy-Hb、total-Hb（oxy-Hb+deoxy-Hb）の平均値を算出し、股関節角度と膝関節角度を要因とする二元配置分散分析を行った。その結果、deoxy-Hbの股関節角度の主効果が有意であった（F=7.686 p<0.01）。この結果は，股関節角度が、腓腹筋のdeoxy-Hbに影響を与えたことを示している。ここで股関節角度0度、膝関節角度0度を100%として、各条件の平均値を相対値に変換した変化率を図17、18、19に示す。図16より全ての条件において、股関節角度0度、膝関節角度0度の条件より、deoxy-Hbの量が減少していることが分かる。関節角度による血流阻害が起きている場合、deoxy-Hbの量が変化するとは考えられず、条件変更時の動作が影響していることが考えられた。そこで順序効果の影響を検討するため、一番最初の条件を100%として、各条件の平均値を相対値に変換した変化率を図20に示す。図20より実験開始から、条件を変更する毎に

deoxy-Hbの量が減少していることが分かる。これは実験時に条件変更を被験者に行ってもらったため、条件変更時に筋活動が発生し、静脈環流が促されたためだと推察される。

4.3.2 下肢の末梢循環の測定（超音波ドップラ法）

股関節角度と膝関節角度を要因とする二元配置分散分析を行った。その結果、股関節角度と膝関節角度の各要因の主効果が有意であった（股関節角度：$F=78.541$ $p<0.01$、膝関節角度：$F=64.632$ $p<0.01$）。この結果は、股関節角度と膝関節角度が、鼠径部の大腿静脈血流速度に影響を与えたことを示している。ここで股関節角度0度、膝関節角度0度の条件を100%として、各条件の平均値を相対値に変換した変化率を図21に示す。図21より、股関節角度0度、膝関節角度0度の条件において、大腿静脈血流速度が最も速く、股関節角度90度、膝関節角度90度の条件で最も遅くなる。このことから、下肢の静脈血流速度が最も速い条件は、臥位（股0度、膝0度）であり、屈曲位（股90度、膝90度）では、下肢から心臓への静脈環流が低下しやすいことが推察される。

5. まとめ

本研究ではDVT予防を考慮した椅子設計の基礎的知見を得ることを目的とし、重力、圧迫、関節角度の各要因が下肢の血行動態に与える影響の大きさについて検討した。下肢の血行動態における生理学的メカニズムのとおり、重力および圧迫の影響では、deoxy-Hb量と血流速度に影響があり、関節角度の影響では、血流速度に影響があった。さらに各要因の影響の大きさを推測することが出来た。今後、これらの結果を元にDVT予防を考慮した椅子設計に活用していく予定である。

謝辞

本研究の推進にあたり、ご指導いただいた早稲田大学人間科学部野呂影勇教授、並びに野呂研究室の皆様に感謝致します。

文献

1) Virchow R.:Gesammelte bhandlungen zur wissenschaftlischen. Medicine.Frankfurt,germany:Meidinger,（1856）.
2) 安藤敏弘ら：岐阜県生活技術研究所研究報告，7，1-3（2005）.
3) 本郷利憲ら:標準生理学, 9 章　循環,（2005）.
4) 豊口克平ら：椅子の支持面に関する実験研究、産業工芸試験所報告，1-27，（1953）.
5) 金城正佳：椅子と下肢静脈環流，マイサイズチェア，8-9，JAFICA（2003）.

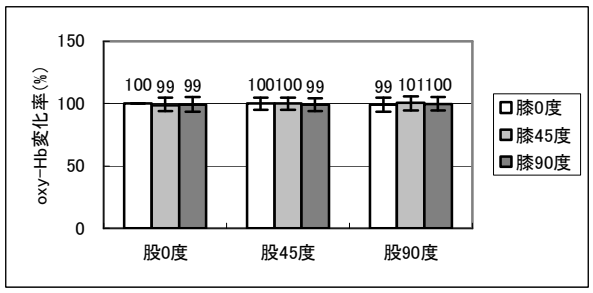

図17 oxy-Hbの変化率（実験3）

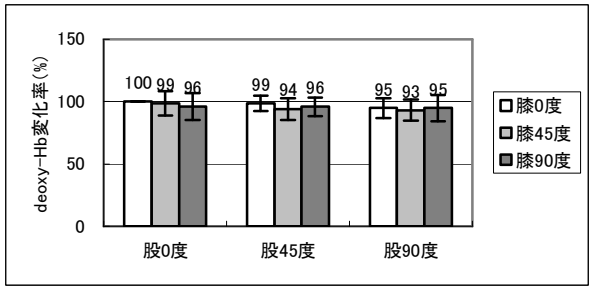

図18 deoxy-Hbの変化率（実験3）

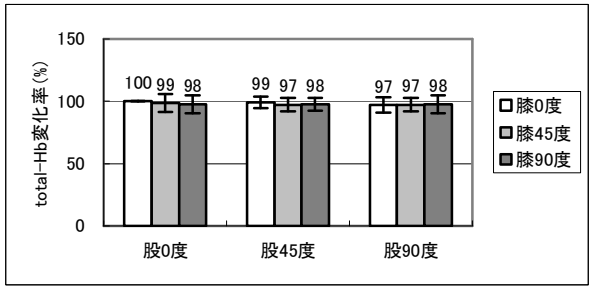

図19 total-Hbの変化率（実験3）

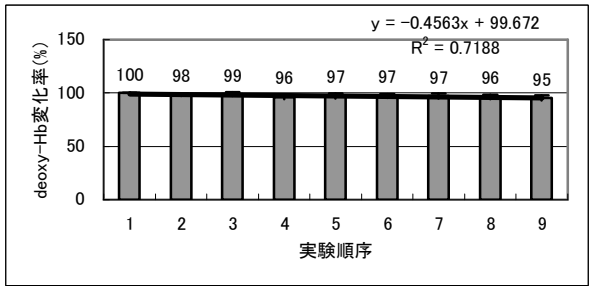

図20 deoxy-Hbの変化率　順序効果（実験3）

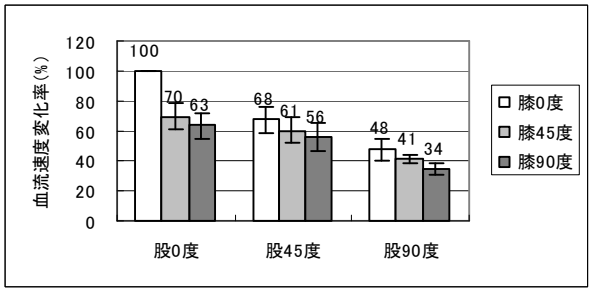

図21 最高血流速度の変化（実験3）