

桜門体育学会平成22年度大会 特別講演

身体活動の程度 — 宇宙医学から高地トレーニングまで —

日本大学医学部社会医学系衛生学分野 教授 岩崎 賢一

身体活動度というのに焦点を当て、我々の研究室がメインテーマとしています宇宙医学の研究成果と、鈴木先生（松戸歯学部）水落先生（文理学部）らと協力させていただきました高地トレーニングにおける研究成果やサポート事業におけるデータから、その重要性についてお話ししたいと思います。

I 宇宙医学の研究成果

1 重力負荷の減少が身体におよぼす影響

まず、宇宙医学と身体活動度の関わりというところからお話をさせていただきたいと思います。この絵は高校の教科書や生物学の資料集などに載っていたりするのですが、人間がサルから徐々に重力に逆らって二足歩行になっていく様子を、そして手が自由になったことによって技術を獲得し、今やロケットを発明して人を月にまで運ぶことができるようになった様子を描いた図です。この『重力に逆らって二足歩行をして手が自由になって』ということが人間にとて重要なキーワードになるのですが、逆に宇宙に出て重力のない無重力・微小重力という環境では、いろいろな影響を受けます。その影響の研究をすると、実際には地球の重力のもとで人が生きて適応している状態、その状態が浮き彫りになってきます。そして、地球重力のもとでの適応というものをみるとみると、重力のあるところで身体を動かすということがいかに重要かということがわかつてまいります。

微小重力だと、この写真（向井宇宙飛行士）のように、身体がプカプカと浮きます。このような状態では身体を動かして移動するのにほとんど力はいりません。周りにある重たいものを動かすのにも重力がありませんので指先ひとつで動かすことができます。ということは逆に、力がまったくいらないということにな

りますから極端な運動不足の状態になります。この極端な運動不足の状態になりますと人間の身体のいろいろなところに影響が生まれてきます。心・循環系においては、調子が悪くなる（deconditioning）ということになりますが、これは後ほどご説明いたします。それから、骨格系ではカルシウムが骨から抜けてしまう「骨粗鬆症」になってしまったりとか、筋肉が萎縮してしまったりということが起こります。

宇宙飛行でおきてくる体力の低下や身体のいろいろな不調というものを、地上で模擬的に研究する場合には運動不足を模擬すればいいわけですから、ベッド上で寝ている状態を作りだせばいいということになります。このベッド上での安静臥床の典型的な実験の例をみなさんにお見せして、体力低下というものに関して少し考えてみていただきたいと思います。

3週間、ベッドの上で寝ている場合の体力低下はどのくらいの老化に相当するのかというのを考えてみてください。私の留学先には、宇宙医学の大家であるBlomqvist先生がおられました。彼の30年間かけた研究を紹介します¹⁾。まず、1966年のアポロ時代の宇宙医学研究になりますが、20~21歳の男性が3週間ベッドの上で寝ていると、どれくらい体力が低下するのかということを調べました。この実験は、3週間のベッド上安静の前後でデータを取り、そして30年後に50歳になったこの人たちを呼び戻して、もう一度同じ体力測定をしました。その結果がどちらのほうが悪いのかということを比べて、老化の影響と3週間の寝ている影響を調べました。結果を示します。縦軸が最大酸素摂取量です。他にも様々な検査をしているのですが、最も分かりやすいデータとして、体力を最もよく表している最大酸素摂取量のデータをお見せします。健康な状態からベッド上で3週間寝ていると、このように大変体力が低下します。そして30年後、50歳に

なったときの結果は、このように3週間寝ていて低下した値より軽度で、普通に生活を送った30年より、3週間寝ていることによる低下のほうが、程度が大きいことがわかります。ただし30年後の値というのは、人によってどのような生活をしていたかにもよりまして、実際にはそんなに変わらない人もいれば、かなり落ちている人もいます。しかし、どの被験者においても明らかなのは、3週間のベッド上の安静は、こんなにも激しく体力を落とすということです。すなわち、3週間のベッド上臥床は、30年分の加齢以上に運動能力を低下させるということです。体験的にわかっていることだとは思いますが、普段運動している人が急に運動をしなくなると多大な影響が出るということです。

2 重力負荷の減少が循環器や自律神経におよぼす影響

運動能力の低下を最大酸素摂取量の低下という結果からお見せしましたが、実際に最大酸素摂取量の低下というのはいろいろな原因で発生します。筋肉が萎縮すると筋肉が十分に酸素を使えなくなるので最大酸素摂取量は低下します。かつ呼吸機能が低下しても、体への酸素の取り込みが悪くなりますので、最大酸素摂取量は低下します。さらに心臓の機能が落ちましても、やはり筋肉に酸素が行きにくくなりますので最大酸素摂取量が低下します。ここから心臓の機能というものに焦点を当てて、体力の低下というものをみていくたいと思います。心臓というのは身体の隅々まで血液を送るためにポンプの作用をしています。心臓が血液を送ることにより、酸素を十分に筋肉に供給するから運動ができるのです。この心臓・循環器系の調節というものについて次に考えていただきたいと思います。

循環器系の調節というものを考えるときに、心拍数と呼吸の関連というものをまずみていきます。心拍は吸っているときに速く、吐いているときにゆっくりになる方が大半です。これを呼吸性の不整脈といいます。なぜこのようなことが生じるのかというと、この心拍の変化というのは心・循環中枢から出ている自律神経の交感神経と副交感神経というもので調整されています。交感神経はアクセル、副交感神経はブレーキの役目をしていて、交感神経が働くと心拍数は速くなり、副交感神経が働くと心拍数はゆっくりになるとい

う調節を行っています。身体の中では呼吸等に伴って血圧も連続的に変化しています。それを感知する場所が動脈血管にあって、血圧の変化を心・循環中枢に伝えて、そして調節するために、この2つ神経を通じて命令を心臓に送って心拍を速くしたり遅くしたりということを絶えずしています。

そこで心拍と呼吸の連動した変化が出てきます。先ほどお話しした呼吸性の不整脈、吸っているときに速く、吐いているときにゆっくりという方が多いといいましたが、この差がはっきりしている方はおそらくとても体調が良い、もしくは、トレーニングが非常にうまくいっている方などであると思います。逆に吸っているときと吐いているときの差があまりない方は、以前ほど身体を動かしていないなどの理由で自律神経の活動が弱っているというようなことが考えられます。このような現象を詳しく数字として表すことによって自律神経の状態がわかります。血圧や心拍の連続的な波形をとると、一見乱雑になっているようにみえますが、横軸に周波数を、縦軸に変動量を数値化して表すと、この乱雑なものが主に2つの波からできているということがわかります。このような解析法を周波数解析と呼んでいるのですが、これを使うと動脈圧受容器心臓反射による変化について客観的な数字で表現が可能になります。こういうものを用いまして、人がベッドの上で長らく寝ていると、いったい動脈圧受容器心臓反射機能がどの程度落ちるのかという研究をしてみました²⁾。今回は2週間という設定でこの機能がどのくらい落ちるのかということを調べました。この2週間というのは、現在のスペースシャトルでは最長で2週間の宇宙飛行をするので、その期間でどれくらいの影響があるかということを研究するために設定しました。自律神経機能のひとつの指標である動脈圧受容器心臓反射機能が、ベッド上安静臥床で2週間経つと30%くらい低下してしまいました。つまり、わずか2週間程度でも身体を動かさないことはとても影響があることが分かりました。ベッド上安静臥床の影響をさきほどは年齢による体力の低下と比較ましたが、この実験では、心臓の調節への影響ということだけに注目してみてみました。その結果、心臓の調節への影響だけみてみても、かなり影響が大きいということが分かりました。

3 宇宙滞在時の運動処方と運動が循環器におよぼす影響

では、2週間ほど飛行してきた宇宙飛行士の調子が悪くなり、一体それでどのようなことがおきるのだろうかということを動画でみていただきたいと思います。このように、帰還直後にこの宇宙飛行士は記者会見に臨んだのですが、記者会見の間にただ立っているだけのことできなくななり、台の下に沈んでしまいました。このとき身体の中で何がおきているのかというと、宇宙飛行の影響で循環系の様々な調節機能が低下し、さきほどご説明した動脈圧受容器心臓反射機能なども悪くなっていて、血圧が十分に保てずに、頭に血液を供給する能力がすごく低下してしまっているのです。だから、立ちくらみのような状態になってしまったということです。そして、またにこやかに話し始め、一見治ったように見えますが、このとき身体の中では調節機能が悪い状態が続いていますから、もう一度さっきと同じように倒れてしまいます。いわゆる立ちくらみの状態ですが、2週間程度の宇宙飛行でもこんなに影響があります。

今の動画を見ていただいてもわかりますように、運動をしないということ、身体活動度が落ちるということは、とても大きな影響があります。最近、運動の重要性については、一般の人でもかなりよくわかっていることだと思います。重力に逆らって二足歩行を始めた我々ですが、技術が進むに従って最近ではあまり運動をしないで日常生活を送るということが増えてきました。さらに、運動しないうえにジャンクフードばかり食べて、お腹が出っ張って、サルに戻るのではなく豚に変わってしまうのではないかという風刺絵を描く人まで出てきています。現代人が運動不足になっている状況ですから、運動不足の人たちに運動・トレーニングをさせたらどうなるかということを考えなければなりません。身体活動度を上げた場合どのようになるのかということを次にお見せします。

普段ほとんど座って仕事をしている現在運動をしていない人たちを集めてトレーニングを行いました³⁾。トレーニングは、まず始めに全然運動していない人たちですから散歩程度から始めました。そして徐々に運動強度をあげていきました。検査は、トレーニング開始前と、開始後3ヶ月ごとに行いました。そして運動

強度を調節して1年間続けました。どのように運動強度を上げていくかといいますと、TRIMPというトレーニング中の心拍数をもとにした指標を用いて管理をしました。TRIMPは心拍数をもとにした心・循環系への生理的負担度の指標だと考えてもらえばよいと思います。これを徐々に増加させていきました。さきほどもお示しした心拍変動の解析などをつかって動脈圧受容器心臓反射機能などをみていきました。他にもいろいろな検査をしたのですが、今回は動脈圧受容器心臓反射機能に焦点をあててデータをお見せします。運動をしていたら必ずよくなります、ではどのあたりで効いてくるのかということを想像してみてください。参考までに、この下の点線は心筋梗塞をおこした人がリハビリをするときの運動強度です。この研究では、もともと普段全く運動をしていない人たちが散歩程度からはじめていますから、心臓のリハビリテーションよりも強度が低いところから始まっています。そして3ヶ月目には心臓のリハビリテーションよりは少し強いところまでできています。そしてこちらの上の点線は、アメリカのカレッジレベルの陸上競技選手、カレッジですから本当に強い競技選手ではないのですが、普通に大学で運動をしている人たちが行っているトレーニングの強度です。一年後には、このレベルに近いところまで強度を上げました。

どこで30%の増強を示すでしょうか。動脈圧受容器心臓反射機能という循環系の調節機能では3~6ヶ月のところで30%の増強を示しました。あまり運動していない人にとっては弱い強度の運動であってもかなり効果があるということがわかります。ただし、この後どんどん強度をあげればより良くなるのかというと、そうではない結果でした。これは普段運動をしていない人たちの話であって、これが例えばトップアスリートに当たる話かというと、それは違います。この結果は、あくまで普段運動していない人にとっては、負荷強度が弱いときにすごく効果が出るが、そこから強度を高めたからといって必ずしもよくはならないということを示したものでした。もしかしたら、この結果はアスリートにとってのオーバートレーニングに似た現象の話なのかもしれません。ただし、いずれにしても全然運動をしていない人たちにとって、弱い運動でも行なうことは、循環系機能を30%以上あげるというような効果を示しますので、身体活動度をあげる

ことはとても重要だということになります。

宇宙飛行士は宇宙に行ったらみんな一生懸命運動をします。このスライドは若田宇宙飛行士が宇宙ステーションの中でトレッドミルに乗ってランニングをしているところです。運動不足は非常に問題になります。宇宙ステーション用に推奨されている運動処方は、週に6~7日、つまりほぼ毎日、1日に2.5時間程度のものです。実際には器具をつけたり外したりすとか準備の時間もありますので、2.5時間ずっと運動しているわけではないのですが、クルータイムとしてはこれだけの時間が運動にあてはめられています。つまり、これだけ運動が重要視されているということがわかります。

長期の宇宙飛行をしてきた場合には、このように椅子に座ったままで、歩く場合も必ず介助者がついて、先ほどの映像のように倒れないようにするというようなことをしておりますが、若田さんの場合は長期の宇宙飛行をしたにも関わらず、帰ってきたその日に自分の足で立って歩いて会見場に行き、倒れることもありませんでした。これは後に日本の研究者の中で話題になったのですが、若田さんは非常に運動が好きで与えられたメニューを完全にこなしていたうえに、さらに自分で進んで運動をしており、その効果がでたのではないかと言われております。宇宙空間に長期滞在しても、きちんとトレーニングをしていれば、このように帰還直後もにこやかに自分の足で会見に向かえるという証明だと思います。

ここまで宇宙医学を題材に、身体をあまり動かさないことと動かすことの差をみてきましたが、ここから先はさらに身体活動度をあげるという高地トレーニングに関しまして、クロスカントリースキーの例を用いてお話を進めたいと思います。

II 宇宙医学で得た知見をスポーツ現場へ

1 高地トレーニングの意義

高地トレーニングをしますと、数%の持久性能力の上昇があります。まず、数%の持久性能力の向上というのがどれだけ意味があるかということをみてみます。先ほどは一般の人たちの30%の上昇という大きな話をしましたが、ここから先は数%というお話になります。では、この数%，なぜみんながこぞって世界

的にも高地トレーニングを取り入れるのかということについて、1つの例を上げます。ソルトレイクシティオリンピックのクロスカントリースキーで同着銀メダル、2人受賞という珍しいことがありました。これは49分48秒9という、約50分走ったあとでわずか0.1秒の差もないというような結果でした。つまりも一緒に同着2位という結果になりました。これほどまでにトップアスリートの競技レベルというのは接近しているわけです。ではこのとき、銀メダルだけがこんなに接近していたのかといいますと、日本人選手はこのとき25位が最高ですが、この選手の記録は51分12秒5で、差は1分23秒7です。このタイムと順位から、だいぶ下だというようにお思いでしょうが、実際に全体の記録からみたら、この差というのは2.5%です。つまり数%の持久性能力の差というのは銀メダルと25位の差ということになりますので、どれだけ高地トレーニングで数%の向上をすることが重要なことがわかります。

高地トレーニング、高地適応とはどういうことでしょうか。まず山の上に行きますと最初に心拍数が増加します。これは身体のなかの酸素が足りないので、なんとかして血をいっぱいまわして酸素を身体の隅々までいかせようという反応です。このとき心拍数が安静状態でも上がってしまっていることが、とても重要なことがあります。山の上に行くと何もしなくても心拍数が上がります。これは適応ですからいいことですが、トレーニングの邪魔になったりすることもあります。そして、そのあとで高地脱水、身体の中の水分を捨ててなるべく血液を濃くして、酸素を出来るだけたくさん送れるようにしようという反応が起きます。これもいい反応なのですけれども悪い方に働く場合があります。そして、そのあと酸素解離曲線がシフトしたり、酸素飽和度を改善するというような適応が起きて、そして血液からなくなっていた水分が回復したり自律神経機能が適応していくというような段階をふんでいきます。この時期は生理機能的適応、つまり形などをえずに機能だけを変えて適応させていくということです。この段階で、すでに高地トレーニングになっていると考え、数日間のトレーニングで十分であるという研究者の方もいらっしゃいますが、私はその考えに関しては否定的です。そこはあくまで適応過程の入口というぐらいのものだと思います。実際に

は、この段階を過ぎて3～4週間経ったとき、組織形態的適応、つまりは形を変えての適応をおこすことで、本当の意味での効果が出てくるのだと思います。何の形が変わってくるのかといいますと、血液の中のヘモグロビン・赤血球の量です。ヘモグロビンや赤血球が増えて酸素を運ぶ細胞自体が増えることによって血液が多くなり、そして、最大酸素摂取量が上がってきます。ここをもって本当の意味での高地トレーニングの効果が現れる段階と考えております。その先、さらに筋肉の血管分布や筋の組成が変わるというところを考える研究者もいますが、その点にはいろいろな議論があると思います。いずれにしましても、組織形態的な適応がどれだけ現れるのかということが高地トレーニングでは重要と考えております。

大学生レベルで高地トレーニングをしたら、どれくらい効くのかということをお見せしたいと思います。対象学生17人で全日本学生スキー選手権出場レベルとしましたが、実際には日大のスキー部でクロスカントリースキーを専門とする学生さんたちの夏合宿で研究を行いました。3週間、志賀高原の渋峠で実施したもので、標高2100mに滞在して1300～1800mでトレーニングを行いました。トレーニング頻度と内容は合宿前から行っている通常のものです。夏季の持久性トレーニング、ローラースキーなどを行っています。循環系への負荷はTRIMPを使用して管理と評価をしました。山の上で3週間トレーニングをした前後と、山にいる間に様々な測定を行いました。本日はどれくらい競技力が向上するかというところに焦点を当てていますので、結果としてはこの競技力向上効果についてお示ししたいと思います。

まずは高地トレーニング前後のタイムトライアルです。14名で行いましたが、男子はローラースキーのフリースタイルで5000m、女子はローラースキーのフリースタイルで3000mのタイムトライアルを実施しました。それから最大酸素摂取量の測定を15名で行いましたが、トレッドミルの運動負荷テストを実施しました。それ以外に、循環系の機能テストとして、能動的な起立テストとか、動脈圧受容器心臓反射機能などを、高地トレーニング前後と山にいる間に行いました。その他にも心理関連のテストや血液の検査等を行いました。心理関連の結果は水落先生（文理学部）が書かれた論文をご参照ください⁴⁾。

全員の平均でみると最大酸素摂取量の増加率は2.8%，タイムトライアルの記録の改善率が2.5%です。これでもかなり、さきほどのオリンピックの件から考えるといい方だとは思います。平均値だけではわからない個人差に目を向け、高地トレーニングによく反応したかどうかでレスポンダーとノンレスポンダーとに分けます。最大酸素摂取量が増加したのは15人中10人で67%です。高地トレーニングを行いましたが、5人は効果が得られなかった、もしくは低下していました。さらにタイムトライアルの結果と合わせて考えますと、タイムトライアルも向上して最大酸素摂取量も増加した、つまり数値で表した競技能力と実際の競技結果みたいなものが合致して上がった例というのは7例の50%です。半分の人はとてもよくなり、半分の人はよくならなかつたということです。実際、このうまくいった例では最大酸素摂取量の増加は4.4%，タイムトライアルの改善率は4.7%と、5%近い改善がみられているということになります。うまくいった人たちには、とても大きな効果があったということです。一方あまり上手くいかなかつた人たちがいるということなので、この個人差を生む因子というものを考えなければなりません。

2 高地馴化過程で生じる個人差へのアプローチ

まず1つに、これはなかなか後天的にはどうにもならないものですが、遺伝的相違というものがあります。生まれ持って高地に適応しやすい人としにくい人というのが存在する可能性があります。ただ、それ以外にも後天的因素があります。心理的ストレス、それから高地は睡眠障害を起こしやすくなります。心理的ストレスや、よく眠れないということで体調が不良になるというようなこともあります。それから、適応過程の一部である高地脱水、これも悪さをする可能性があります。それから高地の滞在初期に、あまりトレーニング強度をあげるというのもよくないことといえます。

トレーニングによって生まれる個人差というものについて、ナショナルチームのサポートデータをもとにお話しをさせていただきたいと思います。このナショナルチームのサポートは、やはり同じように志賀高原渋峠で10日間合宿したときに、それぞれの選手の循環系の調節機能の個人差をみようということで、泊

まっているところに連続血圧計と心電計を持ちこんで毎朝データを測りました。動脈圧受容器心臓反射機能から、どのような高地の適応をそれぞれの選手がするのかというのをみました。2つの典型的な例を示します。わずか10日間の高地滞在合宿ですが、一人は、2日目に反射機能が大きく落ちていますが、6日目・10日目に向かってすでに適応をみせています。早い時期からもとに戻っていることがわかります。ところが、もう一方の選手は2日目に大きく低下し、6日目にさらに低下しています。合宿の終わりになってもほとんど改善していない、適応がほとんど進んでいないという状態です。このような大きな個人差がシニアの選手の中にも有りました。

さきほどお話しした個人差を生む5つの因子の中でも、トレーニング初期での運動強度の上げ過ぎということについて、1つの例をお示ししたいと思います。さきほども出てきましたTRIMPというトレーニングの循環系への負荷の指標があります。安静時心拍数、最大心拍数、それからトレーニングの時間と平均心拍数などから算出されるものです。全日本の女子選手では、高地における合宿中で、このTRIMPがだいたい1日に200前後の値になっていることが多いという結果を得ています。しかし、それに対して非常に高い山に行ったときにあまりうまくいかなかつた例をお見せします。これは、イタリアのステルビオというところで行った、滞在標高2700m、トレーニング標高3200mというような、とても極端な高地トレーニングの例です。10日間の合宿です。毎日のトレーニングにおけるTRIMPと、毎朝の起立テストのときの心拍数を示します。高地に行ったときに、ただ立っているだけで心拍数が普段より20拍高い状態です。そして日を追ってどんどん立位心拍数が上がっていって、やっと下がり始めるのは6日目です。このときに、トレーニングでの循環系への負荷強度は非常に高くなっています。全日本の女子の選手が1日に200位が平均ですが、この選手は最も高い値が500近くまでになっています。これをみると、たくさんの運動、トレーニングができているのではないかと思われるかもしれませんが、しかしそれは勘違いです。立っているだけでこんなに心拍数が高い状態ですので、つまり何のトレーニングをしていくてもTRIMPはものすごく上がる状況なのです。高地に行きますと心拍数は

黙っていても上がってしまいます。なおかつ適応過程がうまくいかないと、高度な脱水等が加わって心拍数はどんどん上がる方向にいってしまいます。運動をしていても心拍数があがるので、トレーニングによる負荷量は循環系に関しては上がるということですが、この場合、実際のトレーニングは質・量ともにとても低下したものになってしまいます。つまり、心臓だけがバクバクいっていて身体はほとんど動かせていないというようなトレーニングになってしまいます。とてもたくさんトレーニングができているというふうに考えるのではなく、心拍数だけが上がっていて質の高いトレーニングはできていないと考えなければなりません。このような高地適応過程の中で初期にトレーニング強度を上げすぎると血液が酸性化しやすくなったり、脱水が助長されます。この変化は、酸素解離曲線のシフトや自律神経の変化、造血などの一連の適応を遅らせてしまうという障害の方向に働いてしまいます。この血液の酸性化や望ましくない高度な脱水というようなものをおこさせてしまいますので、トレーニング初期には心拍数が上がり過ぎるという状況は望ましくないといえます。ですから高地トレーニングをする場合には、循環系負荷強度というようなものもみながら、高地適応過程がスムーズに進むことも考えてトレーニングをしていただければと思います。

III 宇宙医学の今後の展望

ここまで、身体活動度ということについていろいろなデータをお示しして話ををしてきましたが、最後に身体活動度から少し離れて、宇宙医学に関連して我々の施設で今やっていることについて紹介させていただきたいと思います。

宇宙に行きますと無重力なので、重力がないことの影響がおこります。それを解消するために人工重力という、乗っているものをグルグル回して遠心力を使って重力をつくる方法が考えられています。昔から映画とか小説の中ではこのアイディアは出されていました、SFの世界ではだいぶ古くから考えられていました。しかし、実際の宇宙開発ではまだ現時点でこれを応用はしておりません。まだやっと研究が始まった段階です。そしてこの研究をするための機械（遠心人工重力装置）が、日大の医学部においてあります、ど

んな機械かといいますと、先端にゴンドラがあり、そこに入り、グルグル回しますと遠心力と地球の重力の合成Gの方向に、頭から足のほうに重力がかかるというものです。ちなみに1分間に30回転させると、地球重力の2倍、体重が50kgの人であれば100kgに相当する負荷がかかります。

この遠心人工重力装置を使って動脈圧受容器心臓反射機能が、どれくらい強化できるかというのを研究したことがあります⁵⁾。成人男性9名、日大の生産工学部の一般の学生さんたちに毎日1時間2Gの負荷を1週間、繰り返しやってもらいました。そして前後で動脈圧受容器心臓反射機能を調べてみたら、なんと1週間で50%も増加するという、とてもダイナミックな結果が得られました。

さらに、もう少し重力のことを考えてみます。今の時点で宇宙から帰ってくるときは3~4Gという重力がかかっています。さらにスペースシャトルが帰ってくるときも2Gくらいです。もしこの先、月や火星に基地ができたら1/6Gや3/8Gといったようなとても変わった重力の状態で人間は長く過ごさなければなりません。このようなことから我々は、いろいろな重力の状態で生体への影響はどうなるのか、機能の変化は直線的に変わるのか、1Gを境にVの字型になるのか、はたまた薬の効果のようにS字型になるのかというようなことを研究しようと考えております。

その際、人間というのは頭に血液を巡らせるということが最も重要なことから、脳循環について注目しています。現在、ドップラー血流計という機械で頭の中の太い血管の血液の流れを痛みもなく簡単に超音波で測ることができ、グローバルに頭全体にどれくらい血液が巡っているかということを評価することができます。そして、被験者を遠心人工重力装置に乗せ、頭に脳循環を測るこの装置を付け、そして手に連続血圧計をつけて、身体に心電図を貼って、グルグルまわってもらい、重力がものすごく掛かっているときに頭の血液の巡りはどのようにになっているのかということを研究しています。

さらに以前、スペースシャトルの飛行士を被験者として研究をしました⁶⁾。これはもちろん微小重力、重力がない時に頭の血液の巡りがどうなっているのかという研究であります。スペースシャトルの中では宇宙飛行士同士が互いに測定装置を付けてデータをとり、

地上では宇宙飛行士に我々が測定装置をつけて宇宙飛行前後で測定し、データをあとで解析するということをしました。単純にいいますと、宇宙飛行中と宇宙から帰還してきた直後は、脳血流の変動は減って、とても脳血流が安定している状態となっていました。心拍の波形と違って、脳の方は安定して一定に血液が流れてくれた方がいいのですから、つまり宇宙飛行中は脳血流が安定して、脳循環の自動調節機能が良好になっていると考えられます。これはもともと我々が考えていた仮説とは逆でした。実は当初は、宇宙に行っている間は脳の血液の巡りが悪くなっているのではないかという仮説をたてました。しかし、当初の仮説とは逆だったということで、宇宙でなぜ頭の血の巡りがよくなるのかということも研究したいということになりました。さらにこのスペースシャトルの実験は2週間だけの宇宙飛行でしたし、なおかつ被験者は6人でした。そうするともう少し長い飛行ではどうなのか、それからもっと被験者数を増やしてデータを取ったらどうなるのかといふような疑問もわいてきました。昨年JAXAを通じて国際宇宙ステーションの中で宇宙飛行士を対象にする研究の国際公募が行われ、この宇宙での脳循環変化に関する研究を応募しました。その我々の研究テーマが選定されましたので、現在準備をしているところです。準備が終わりましたら、再来年ごろから宇宙飛行士のデータを取り始めて、5年位をめどにたくさんの宇宙飛行士の脳循環のデータを取っていこうと思っています。そして、人が長期に宇宙に滞在した際の脳循環の変化と、たくさん的人がどのような個人差を示すのかというようなことを調べていこうと思っています。

参考文献

- 1) McGuire, D.K., Levine, B.D., Williamson, J.W., Snell, P.G., Blomqvist, C.G., Saltin, B., Mitchell, J.H.. 30-year follow-up of the Dallas Bedrest and Training Study: I. Effect of age on the cardiovascular response to exercise. Circulation 104:1350-1357, 2001.
- 2) Iwasaki, K., Zhang, R., Perhonen, M.A., Zuckerman, J.H., Levine, B.D.. Reduced baroreflex control of heart period after bed rest is normalized by acute plasma volume restoration. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol 287:R1256-R1262, 2004.

- 3) Iwasaki, K., Zhang, R., Zuckerman, J.H., Levine, B.D.. Dose-response relationship of the cardiovascular adaptation to endurance training in healthy adults: How much training for what benefit? *J. Appl. Physiol.*, 95:1575-1583, 2003.
- 4) 水落文夫, 岩崎賢一, 鈴木 典, 小川洋二郎, 高橋正則, 宮本 晃, 沢田海彦, 伊坂裕子, 塩澤友規, 菅生貴之, 田中ウルヴェ京, 吉本俊明: 高地トレーニング合宿におけるクロスカントリースキー選手の心理的コンディションとトレーニング効果の影響. *スキー研究* 5:1-12, 2008.
- 5) Iwasaki, K., Hirayanagi, K., Sasaki, T., Kinoue, T., Ito, M., Miyamoto, A., Igarashi, M., Yajima, K.. Effects of repeated long duration +2Gz load on man's cardiovascular function. *Acta Astronautica* 42:175-183, 1998.
- 6) Iwasaki, K., Levine, B.D., Zhang, R., Zuckerman, J.H., Pawelczyk, J.A., Diedrich, A., Ertl, A.C., Cox, J.F., Cooke, W.H., Giller, C.A., Ray, C.A., Lane, L.D., Buckey, J.C.Jr., Baisch, F.J., Eckberg, D.L., Robertson, D., Biagioni, I., Blomqvist, C.G.. Human cerebral autoregulation before, during, and after spaceflight. *J. Physiol.*, 579:799-810, 2007.



シンポジウム風景。左が演者の岩崎賢一先生。
右は司会の鈴木典先生。



岩崎先生による発表。聴講者に学生が多くいたこともあり、
難しい専門用語もわかりやすく説明されていた。