

Contribuição da Fluidomecânica à « Hemodinâmica »

Eng.º JOSÉ DE CARVALHO LOPES (*)

Na louvável intenção de entrosar médicos e engenheiros, ofereço aos leitores da REVISTA DAE modesta contribuição pela qual se pudesse avaliar até que ponto a Mecânica dos Fluidos valeria influir em benefício duma técnica ainda na infância, em que pese os notáveis progressos já conquistados.

Sempre apreciei, em minhas elocubrações técnicas, invadir setores comuns a médicos e engenheiros, esta espécie de "terra de ninguém". E essa constante em minha modesta vida talvez encontre sua razão de ser no fato de que, logo após formado em Ouro Preto, haver sido designado para servir num ambiente em que havia dois engenheiros para 20 médicos. Fui para Araxá, onde me empenhei numa luta em que o triângulo fundamental que se constituía de médico crenólogo, engenheiro hidrólogo e arquiteto houvera de manter-se harmonioso.

Estas frequentes incursões de engenheiro no campo da medicina, e que apresenta intensa recíproca, têm abrigo no setor cultural e de atividades paramédicas. Neste canto me sinto bem, sem constrangimento como engenheiro que deseja esta deliciosa simbiose em prol da técnica racional e, porque não o dizer, da pesquisa temperada pelo condimento deste instrumento maravilhoso que é a Matemática.

Assim contarei como nasceu a presente contribuição. Colaboro, há tempos, na excelente Revista D.A.E. (Departamento de Águas e Esgotos de São Paulo) numa sequência de artigos sob a epígrafe: "Princípios de Aerotécnica", seja a Mecânica dos Fluidos ministrada com o precioso auxílio do Tunel de Vento. No preâmbulo do Capítulo IV, que aborda as leis que regem o Princípio da Transformação da Energia (Bernoulli), resolvi, como aplicação prática, invadir a seara do médico, comentando como exemplo concreto o "escoamento sanguíneo no corpo humano". Poderá ser consultado o número de dezembro de 1966 da citada revista. Posteriormente no caderno literário do "Estado de Minas", fiz publicar ousado artigo sobre a cardiomecânica, um tanto fantasioso, para despertar interesse. Nesses escritos fiz curiosa revelação: nós engenheiros devemos a dois ilustres médicos os dois mais notáveis avanços da Fluidomecânica. Daniel Bernoulli, suíço (1700-1782) e J. M. Poiseuille (1799-1869) francês, ambos eminentes professores de Anatomia e Fisiologia. Não perlustrarei detalhes e nem haveria tempo para tal. Apenas desejo agitar o problema e propor às entidades competentes a instalação, junto à Cadeira de Física médica, de um laboratório especializado em que médicos e engenheiros se entrossem. A caracterização de fluxos sanguíneos por traçadores isótopos radioativos se me afigura da mais alta importância, em cadáveres recentes convenientemente preparados. Temos excelentes Institutos de Pesquisas Radioativas bem dotados de pessoal e material. Ainda há pouco, na Usina de Três Marias em Minas Gerais, com sucesso, aplicaram o método na determinação de características fluidodinâmicas quase desconhecidas para diâmetros da ordem de oito metros. Houve razoável concordância nos resultados obtidos.

O que abordarei é tão somente do ponto de vista mecânico e os médicos especializados deverão ter isto em vista. Seja por que, evidentemente, o fenômeno circulatório veno-arterial tem mais de simplesmente mecânico: é ultra-complexo e envolve transformações físico-

(*) Professor Catedrático da Escola de Arquitetura da Universidade de Minas Gerais e da Escola de Minas de Ouro Preto.

-bio-anátomo-psico-neuro-mecânicos. Sòmente a química-física dos coloides, quanta complicação...

Na realidade, entre os mundos mecânico e biológico medeia tenebroso abismo, que, embora se estreitando com o avanço da ciência, jamais seria anulado ou transposto. Ilustre médico amigo afirmou que nós engenheiros "medicamos" máquinas que o próprio homem concebeu, além de dispormos deste "sexto sentido" que é a matemática. Eles médicos estão às voltas com misteriosa máquina que Deus fez. Seja como fôr, a conclusão é que neste prélio médico-engenheiro há claramente disputa em tórno do "galardão da ignorância". Tratar-se-ia de definir quem mais se avanta no ignorar "êsse desconhecido carreliano", se o engenheiro ignorando os aspectos bio-fisiológicos ou o médico o fenômeno do complexo fluidomecânico "amarrado à circulação". Posso afirmar que nós engenheiros "levamos a palma" nessa disputa perde-ganha, pois o campo da ignorância é mais vasto, complexo e difícil para o engenheiro no seu esforço para assimilar os conceitos em que intervêm os graves mistérios da vida.

Pensei no criar o neologismo "cardiodinâmica". Logo, porém, vim a saber que já existia, no currículo das faculdades de medicina, a "Hemodinâmica", termo bem mais adequado, na Cadeira de Fisiologia.

A corriqueira equiparação do coração a "simples bomba aspirante-premente" se me afigura grosseira. Mais que isto, seria uma hiper-bomba. De início se nos depara dupla micro-bomba, capaz de funcionar ininterruptamente cem anos, desmoralizando qualquer mecanismo de humana feitura. Teríamos, além disto, a extravagância mecânica, embora razoavelmente bio-anatômica, que estabelecer bomba na qual as canalizações próximas **pulsariam com a mesma**. Sòmente um homem seria capaz de tal façanha cinematográfica: Disney, o saudoso gênio imortal dos desenhos animados.

Poiseuille se fizera razoável indagação: assimilada a cinemática dos vasos humanos a escoamento em tubos, qual seria o regime de escoamento do fluido: do tipo LAMINAR ou TURBULENTO?

Todos nós aprendemos, já na Física do secundário, a chamada experiência de Reynolds para visualizar os dois citados antagônicos tipos de escoamento. Num tubo de vidro em que o escoamento de água pura desacerada é regulável, faz-se chegar, por pipeta especial, no eixo do fluxo, gôta a gôta, anilina rubra. Começando por velocidades mínimas, observa-se que tênue fio vermelho se forma ao longo do eixo do tubo. Fazendo-se aumentar a velocidade gradualmente, o fio rubro se vai paulatinamente engrossando. Passa, em seguida a "vibrar", tremer, e, acima de certa velocidade, que chamamos crítica, a anilina começa a disseminar-se colorindo tôda a massa hídrica em movimento, indicando que o paralelismo inicial das trajetórias das partículas fluidas dava lugar a movimento desordenado, TURBULENTO. Ficaram separados os dois tipos característicos de movimento citados: TRANQUILO ou LAMINAR e TURBULENTO, também chamado HIDRÁULICO, o primeiro para baixas e o segundo para altas velocidades. O fenômeno requer paciência e habilidade para ser bem visualizado e não é súbita a transição e sim gradual, denotando a existência duma faixa "duvidosa". É claro que todo "fenômeno" é conhecido quando se passa a medi-lo. Há um meio algébrico para avaliá-lo e que recai numa expressão chamada NÚMERO DE REYNOLDS, definidora de escoamentos. Para estabelecê-la basta comparar duas forças em jôgo,

a da inércia = $F_i = m.a = \text{massa} \times \text{aceleração}$

a da viscosidade, regida pela lei de Newton: $F_v = \mu.S. \frac{dV}{dx}$

Acharemos

$$F_i/F_v = m.a/\mu S.dv:dx = \rho L^3.V.T^{-1}/\mu L^2.T^{-1}$$

ou, simplificando:

$$NR = VD \rho/\mu = VD/\nu$$

sendo: V = velocidade e D = diâmetro,

μ = coeficiente de viscosidade, de dimensão $ML^{-1}T^{-1}$

ρ = massa específica do fluido, de dimensão ML^{-3}

e $\nu = \mu/\rho$ = viscosidade cinemática, de dimensão L^2/T^{-1}

A figura (1) representa o ábaco de MOODY, de escalas cartesianas oritmético — logarítmicas. Em ordenadas, à esquerda (de quem olha) estão os coeficientes de atrito f , da fórmula Darcy-Weisbach para encanamentos. Em abcissas os NR e em ordenadas à lreita a aspereza relativa ϵ/D , ϵ sendo a saliência média das asperezas da parede interna dos tubos.

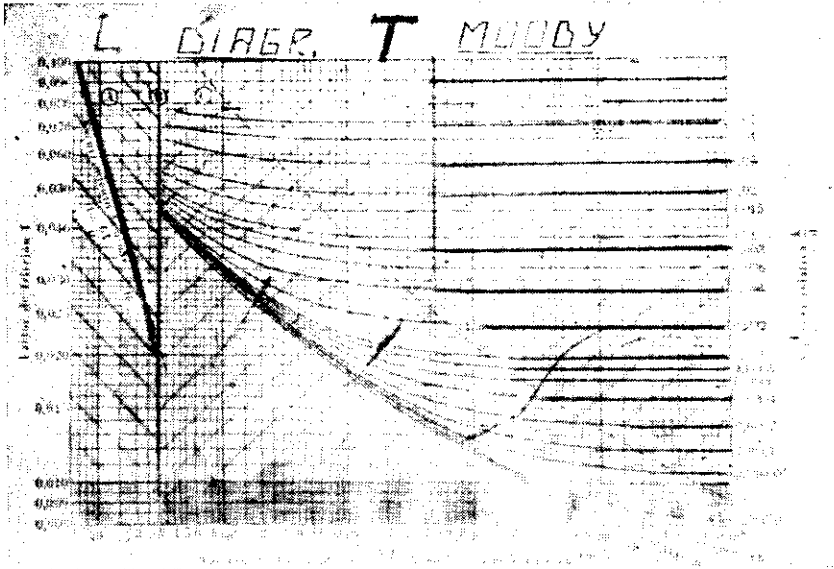


Fig. 1

A citada “faixa duvidosa” fica entre os NR de 2 a 3 mil (no ábaco figuram os logarítmicos destes números).

NR = 2400 está no centro desta faixa e será para nós o valor “teórico” separador dos dois tipos de escoamento, de modo que à esquerda de log 2400 está o “campo laminar” e à direita o turbulento. Nota-se que à esquerda f decai segundo uma reta, chamada Reta de Blasius e os f , de atrito, agravam-se portanto, em regimes ultra-lentos como acontece nos capilares, segundo a relação simples:

$$f = 64/NR$$

A conclusão de grande valia é que as paredes nuas dos vasos não influem no escoamento pela sua maior ou menor aspereza e sim os fenômenos, maximé coloidais, que alteram a viscosidade do sangue, chegando ao extremo da coagulação. O campo a direita, turbulento, não interessa à Hemodinâmica, uma vez que os cálculos, fáceis de se reproduzirem, mostram que a turbulência raramente é atingida nos vasos humanos e quando o é, dá-se em campo restrito e transitòriamente quase sempre. Para um mesmo sangue temos:

$$NR = KVD$$

significando que no avanço para as faixas extremas, capilares, as duas variáveis V e D se irmanam no sentido de baixar violentamente o NR e, portanto, provocar a estagnação nos extremos capilares. A mesma fórmula, para um mesmo sangue, e dando a NR o valor da “constante universal”: 2400, dá:

$$V_c = K/d$$

mostrando que a velocidade crítica V_c seria menor para grandes diâmetros (d no denominador), sendo, pois, mais facilmente alcançada em troncos de grande calibre como a

Aorta, que, na crossa, apresenta 2,5 centímetros de média estatística. "Se turbulência ocorrer, portanto, no corpo humano, sê-lo-á neste sítio, em que a curvatura ainda colabora. Sendo, para o sangue humano, 0,03 Poise bom valor para a viscosidade absoluta, viria:

$$V_c = NR \cdot \mu / \rho d = 2400 \cdot 0,03 / 1,045 \cdot 2,5 = 26,125 \text{ cm/seg} = 0,26 \text{ m/s.}$$

Consequentemente, no caso supra, a ocorrência de velocidade acima de 26 cent./seg **provoca a turbulência**. Esta velocidade é atingida e mesmo esporadicamente ultrapassada nos grandes vasos. Há enorme discordância entre os autores que conheço, a êste respeito. No excelente livro de Otto Glasser: "Medical Physics" o especialista Harold Green, no capítulo Physical Principles of Circulation, chega a admitir 40 cm para a velocidade na Aorta de cão. Poiseuille não chegou a tanto. Baseou-se entre 25 a 30 cm/seg mas para o homem médio. Não conheço "diretamente" o trabalho de Poiseuille, porém penso que tenha exagerado o valor do coeficiente de viscosidade (V. Lúcio dos Santos, volume 2, que não indica a fonte). Green admite a variação da viscosidade entre 1,7 e 2,8 Centi-poise, seja uma oscilação de 50% em relação à média. O tema é tão confuso que Green aconselha, ao invés de usar diretamente, num caso específico, o coeficiente de viscosidade oriundo de tabelas, medir diretamente, em tubo padrão, a perda de carga por unidade de vazão e dividi-la pela devida à água nas mesmas condições da experiência, e criou o que chamou de "viscosidade relativa". Esta, multiplicada pela da água, reproduz evidentemente a do sangue em estudo.

Supondo, para o cão, $d = 1$, $v = 40$ e $\nu = 0,0169$ Green achou:

$$NR = vd/\nu = 2360$$

e assim conclui' Apparently, under conditions of minimum viscosity and maximum velocity such as during the phase of rapid ejection THE FLOW IN THE AORTA MAY BE TURBULENT".

Outra circunstância acarretadora da turbulência é a ocasionada por ESTADOS FEBRIS, uma vez que a viscosidade sanguínea cai rapidamente com o acréscimo da temperatura.

Passaremos agora ao ponto mais importante de nossa exposição, que está sintetizado na fig. 2, o diagrama hidrodinâmico dos dois ciclos da circulação humana, o grande: ventrículo esquerdo-órgãos-aurícula direita; e o pequeno: ventrículo direito-pulmão-aurícula esquerda. O arranjo é diagramático e na parte superior mostra as linhas: piezométrica e de energia, tendo servido de base os dados de Green. Foi rebatido no plano o desenvolvimento dos dois "semi-corações", duas bombas que se ligam: ao sistema capilar artério-venoso, palco do Metabolismo-Mater que Grahon (Lusk) chama de FLAMA DA VIDA, e ao aparelho oxigenador, o pulmão. Do VE (ventrículo esquerdo), sobe a Aorta, com sua crossa. Da TRAMA CAPILAR atingimos as cavas, que vão ter à aurícula direita, daí para o VD que impulsiona o líquido venoso para o Pulmão pelas artérias pulmonares e que, oxigenado, terá acesso à AE pelas veias pulmonares, passando para o VE e fechando o circuito. Por sobre êstes elementos: órgãos e "canalizações" traçamos as "linhas piezométricas, (representativas das pressões) e de energia (acrescidas as anteriores das velocidades). O quadro parece claro e dispensa explicações. AS PRESSÕES FORAM TRANSFORMADAS EM COLUNAS D'ÁGUA, de que cada milímetro representa, pois, um Kg/m². As linhas seriam teoricamente parabólicas. Para NR inferior a 2400 o regime é francamente LAMINAR e as perdas de carga obedecem à fórmula:

$$P_2 - P_1 = \frac{128 \text{ Q.L}}{d^4}$$

que indica as perdas de pressão caírem na proporção da quarta potência dos diâmetros e o gráfico mostra que elas se acentuam a partir das ramificações pequenas no diâmetro (tendência para capilares). Do valor inicial de 1300 mm, cai, suavemente no início (vasos "novos"...) e no fim mais rapidamente, chegando a 500 nas arteríolas, logo após 300

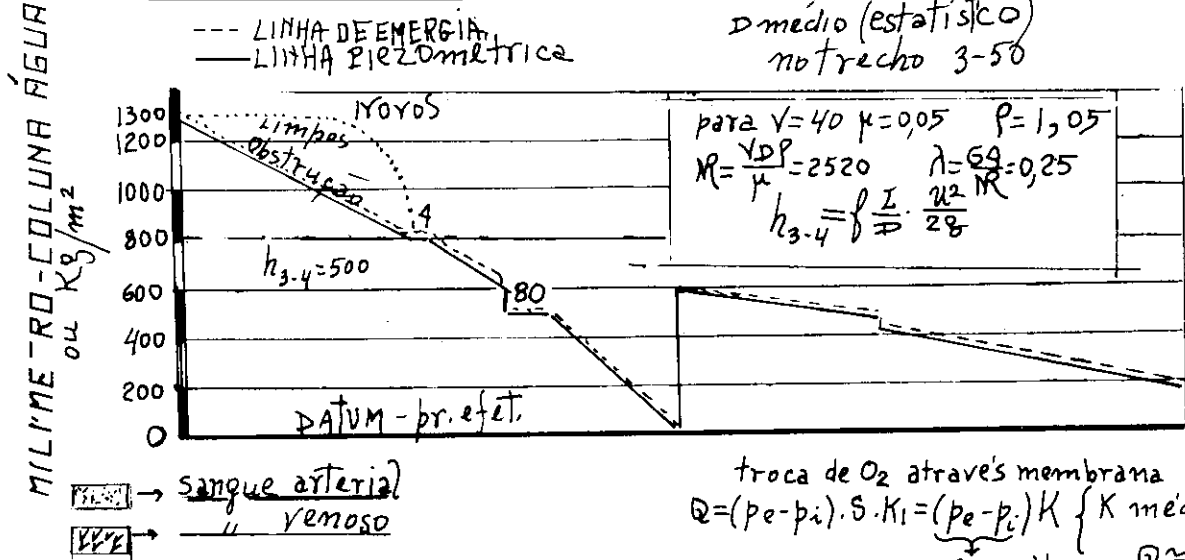
FLUIDOMECANICA

HEMODINÂMICA

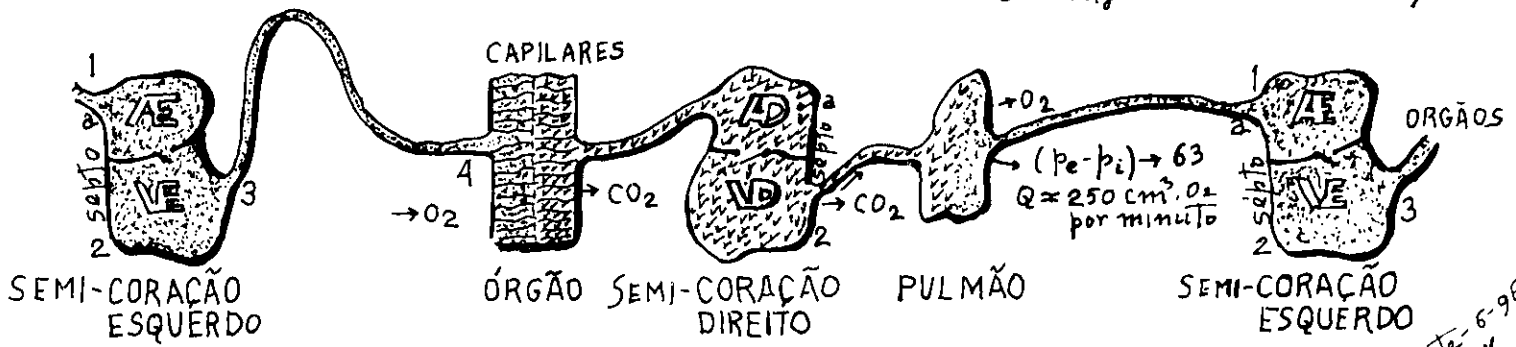
Regime Laminar

$$h_z = \frac{32 \cdot L \cdot \mu \cdot V}{W D^5} = \frac{32 \cdot 0,50 \cdot 0,05 \cdot 50}{98} = 4/cm = 410 \text{ mm}$$

D médio (estatístico)
no trecho 3-50



troca de O_2 através membrana epitelial pulmão
 $Q = (p_e - p_i) \cdot S \cdot K_1 = (p_e - p_i) K$ { K médio = $40 \text{ cm}^3 \frac{O_2}{\text{minuto} \cdot \text{mm Hg}}$
 $Q \approx 250 \text{ cm}^3 \cdot O_2 / \text{minuto}$



Potência = $W = 0,2 (1,3 + 0,6) = 0,38 \approx 0,4 \text{ Kg.m.}$
 $\pm \frac{1}{200}$ do HP

Hemoglobina: $C_{758} H_{1203} Fe N_{1195} O_{218} S_3$
 peso molécul. ≈ 17600

B. Horizonte - 6-967
 J. Cavalheiro Lins

Fig. 2

nas vênulas para chegar a pouco mais de 100 no fim dos capilares e finalmente atingir as CAVAS quase a zero, (2 a 3 mm) no local "considerado a **sucção da bomba**". Circunstância realmente notável é a **AUSÊNCIA DE PRESSÕES EFETIVAS NEGATIVAS**. Não há, portanto, pelo menos em circunstâncias NORMAIS. Nem a importantíssima depressão provocada pela respiração, maximé na fase inspiratória, que, pela depressão conseqüente do aumento do volume torácico, "engorda" aumentando a capacidade dos vasos centrais, **NEM MESMO ISTO FARIA DESCER** abaixo de Zero a pressão EFETIVA. Imaginem se houvesse, e seria na entrada da aurícula direita, depressão de certo vulto. A conseqüência primária seria um desprendimento gasoso que tornaria os fluxos e, portanto, a vida bastante precários, assim penso.

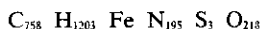
MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

Está conjugada ao funcionamento do coração, a função se completando tendo êste como motor e o ambiente de capilares e alvéolos como laboratório. Não cabe neste artigo desenvolvimento do aspecto fluido-mecânico (tão somente) que envolve os complexos fenômenos. A meta final do mecanismo respiratório é suprir cada tecido, no corpo, do oxigênio necessário (metabolismo) e retirar o CO₂ produzido pela ação dêste combustível no combustível de base C oriundo da alimentação da "fornalha humana". Tal solicitação é variável, em acôrdo com a natureza e a atividade do tecido. Estes com elevado "metabolismo basal" encerram o máximo de tecido nuclear. Órgãos glandulares apresentam metabolismo estático da ordem de 0,05 a 0,1 cm³/ gr. min., enquanto músculos requerem a décima parte. Coração do cão não exige mais que 0,007 (anestesiado). Tal intercâmbio de gases entre capilares e tecidos celulares é o inverso do que ocorre no pulmonar campo: o O₂ abandona o sangue vermelho e é "atraído" pelos tecidos". Simultaneamente o CO₂, produto de tôda a combustão, deixa o tecido e é atraído pelo sangue. Do que sabemos somente a teoria da difusão dos gases explica a "mágica" desta transferência gasosa através de membranas. **CONSEQUENTEMENTE A TENSÃO NOS TECIDOS DEVERÁ SER SEMPRE INFERIOR À DE CIRCULAÇÃO NOS CAPILARES**, como o mostra o diagrama, em acôrdo com a lei expressa por:

$$Q = K_1 S (p_c - p_t) = K (p_c - p_t) \text{ em cm}^3/\text{min. de gás}$$

em que p_c é a PRESSÃO CAPILAR, p_t a do seio do tecido e S a superfície pulmonar de um indivíduo médio. A p_t é regulada pelo "balanço" entre "consumo e fornecimento". A p_c, eminentemente variável, anda em tôrno de 40 mm Hg, digamos 550 milímetros de coluna de água, o que equívale a 550 Kg/m². O consumo de O₂, é também muito variável nos músculos, indo de 0,003 a 0,080 cm³ de O₂ por grama/minuto de tecido.

É importante se conheçam as características químico-físicas do sangue, particularmente o pH, pois enquanto o veículo do O₂ é a Hemoglobina, o do CO₂ é o plasma, a maior parte sob "carbonato em combinação e pequena porção em solução iônica sob HNaCO₃ (bi-carbonato)". Em suma, a Hemoglobina e o plasma são os veículos dos dois gases e o "sistema artério-venal-capilar a "estrada". Curioso é observar que a Hemoglobina:



cujo pêso molecular ultrapassa 17000 é o "suporte", contendo o ion Fe sob as duas formas com que a Natureza no-lo oferece: no mínimo, bivalente, quando associarlo ao CO₂ (venoso) e Fe''' no máximo, trivalente, que dá origem aos compostos férricos, avermelhados (corresponde ao sangue arterial, com oxihemoglobina) e aquêles aos "ferrosos" que geram os sais verde-escuros ferrosos (corresponde ao sangue venoso, com parte sob carbonato ácido ferroso, ionizado). As moléculas dêste são altamente instáveis. A mais leve oxidação fá-las liberar o CO₂ resultando hidrato férrico (ferrugem, amarelada).

Finalmente nos capilares se forma a Carbo-hemoglobina, à custa dos produtos da combustão, que mantém a constância da temperatura nos animais de sangue quente. Ao revés, nos pulmões, campo dos epitélios, dá-se a re-absorção do O₂, liberando-se o CO₂ e vapor d'água que são expirados e forma-se a oxihemoglobina que pelas veias pulmonares

vai ter à aurícula esquerda, desta passando para o ventrículo esquerdo, deste sendo fortemente bombeada para os órgãos.

A difusão do O_2 e CO_2 através do epitélio pulmonar obedece à mesma lei de expressão analítica já enunciada:

$$Q = (p_c - p_i) SK_i = K(p_c - p_i)$$

$p_c - p_i$ sendo a diferença de pressão, em estado estático, entre o ar alveolar e a carbo-hemoglobina, através da membrana epitelial, efetiva, positiva, da ordem de 6 mm Hg, seja 82 mm de coluna d'água, equivalente a 82 Kg/m². **IMPORTANTÍSSIMO É observar que a pressão média nos capilares É MENOR QUE A DAS ARTÉRIAS E MAIOR QUE A DAS VEIAS.**

POTÊNCIA DO CORAÇÃO

Finalmente, satisfaçamos natural curiosidade: a potência do órgão mestre. O es-
coamente segue a lei do **médico BERNOULLI**:

$$Z + p/\gamma + V^2/2g = H \quad (1)$$

mostrando que as três formas de energia: de posição (z), de pressão (p/γ) e cinética v²/2g somam a total constante. Assimilado o coração a máquina operatriz especial, que produz o trabalho T_c, êle não está isolado nas pulsações e, intercalado no sistema circulatório duplamente fechado, funciona como verdadeiro **"BOOSTER"** (faremos buster), que é um **intercalar impulsionador**. Procuremos enquadrá-lo numa classificação. A máquina mais funcionalmente próxima é a BOMBA. Todavia, o rotineiro Tabu que o coração é **"bomba aspirante-premente"** é pura balela. **Qual o tipo de bomba que não aspira e não preme?** — Isto não é base de classificação. A aspiração pode ser positiva e vimos que é exatamente o caso do coração e... felizmente, fig. 2 (v. fig. 2), embora essa pressão efetiva seja

O racional é classificar bombas pelo **mecanismo de ação** e temos 2 grandes ramos:

- 1) B. por ação mecânica
- 2) B. por ação de fluido, como pulsômetro, Air-lift, etc.. O ramo (1), único a nos interessar, dá 2 classes:

- A) por movimento alternativo, ou pulsativo
- B) por movimento rotativo.

Evidentemente o coração é da (1-A), que encerra 2 ordens:

- a) de êmbolo
- b) de diafragma

Claramente não é de êmbolo. Muito menos de diafragma, pois os septos não bombeiam. No coração, as paredes elásticas-musculares (fibra lisa) é que **causam o movimento alternativo** ou PULSATIVO. O tipo de bomba mais próxima do coração é a intercalar DE PERA, de borracha.

Eu proporia a criação duma terceira ordem:

BOMBA BUSTER MECÂNICA ALTERNATIVA, DE PAREDES ATUANTES, GÊMEA, DE SIMPLES EFEITO E DOIS ESTÁGIOS.

Gêmea porque é dupla: semi-coração direito e esquerdo. De dois estágios porque aurículas estão em série com ventrículos. A diferença da bomba Seringa-pera é que o coração atua

γ é letra grega (gê) que representa o peso específico e V a velocidade, do sangue no caso.

também na expansão (aspiração), ao passo que a primeira o faz passivamente, pela rigidez elástica da pera.

À equação (1), que representa um estado residual das três energias devemos, pois intercalar o T_c (trabalho do **buster**-coração) e teremos:

$$Z_o + p_o/\gamma + V_o^2/2g + T_c = Z + p/\gamma + V^2/2g$$

O trabalho do coração terá, pois, a expressão:

$$T_c = (Z - Z_o) + (p - p_o)/\gamma + (V^2 - V_o^2)/2g$$

Os termos em Z podem ser desprezados, como o em V_o (v. fig. 2):

$$T_c = 0 + (p - 0)/\gamma + (V^2 - 0)/2g = p/\gamma + V^2/2g$$

Para os 100 mm Hg ou 1300 de coluna d'água, viria:

$$T_c = 1300/1050 + 0,16/19,6 = 1,24 + 0,0816 = 1,322 \text{ quilogrâmetros}$$

Seja 1,4 Kgm (quilogrâmetros), que devemos somar à potência desenvolvida pelo semi-coração direito, que recalca a metade da altura (650 milímetros de coluna d'água, v. diagrama da fig. 2) e a potência total seria a acrescida de 50%, o que dará:

$$W_c = 1,4 \cdot 1,5 = 2,1 \text{ Kgm (quilogrâmetros)}$$

Como a equação de Bernoulli traduz o deslocamento de 1 Kg (um quilograma) de líquido, a vazão na aorta não tinge tal volume, pois a velocidade aí não ultrapassa 0,40 metros por segundo (40 centímetros por segundo), que corresponde à vazão:

$$Q_c = S \cdot U = \pi d^2/4 \cdot 40 = 4,909 \cdot 40 = 196,36, \text{ seja } 0,2 \text{ Kg/seg.}$$

uma vez que a aorta, em média tem 2,5 cm de diâmetro. Logo

$$W_c = 2,1 \cdot 0,2 = 0,42 \text{ quilogrâmetros}$$

potência inferior, pois, a meio quilogrâmetro e relacionada esta ao cavalo-vapor, teríamos

$$75/0,41 = 183$$

isto é, seriam necessários cento e oitenta corações (médios) para termos um HP. Reforçando de 20% a potência teórica encontrada, teremos 0,50 e como 0,5 Kgm equivale à queda de meio quilograma em um metro, ou um quilograma em meio metro ou ainda, de 2 Kg em 25 cms., conceberemos uma imagem concreta fazendo cair dois quilogramas em 25 cm. sessenta vêzes por minuto.

Consequentemente A BATIDA DE 2 QUILOGRAMAS VERTICALMENTE DE 25 CENTÍMETROS, com a FREQUÊNCIA DE 60 PANCADAS POR MINUTO, reproduz o trabalho contínuo de um coração humano médio.

A determinação exata da potência do coração tem a máxima importância no cálculo do motorzinho que irá acionar um "Coração Artificial". Na ignorância da potência exata, reme-se exagerado o poder do motor impulsador, quer no artificial completo, quer no oxigenador extra-corpóreo. A consequência é sempre desastrosa, originando-se fluxos violentos que, reprimidos, perturbam as características circulatórias que devem ser ritmadas suavemente. Num problema elevatório seria absurdo o uso de bombas três ou quatro vezes a potência requerida, retendo-se a energia de sobra em registros quase completamente obturados. No caso do coração a delicadeza das operações requer ainda mais "fino ajuste" da micro-potência em jôgo, pois a ocorrência de embolias mais se acentua.

Torna-se patente que o caso do coração dar mais de 60 "golpes" por minuto, seja 80 ou mais, em nada altera nosso cálculo da potência. Bombas de êmbolo ou eletrocentrifugas podem produzir o mesmo efeito com impulsos ou rotações diferentes.

Outra comparação curiosa. Medi em meu relógio "cuco" de parede a queda, lentíssima, de 0,8 Kg. de meio metro, em 8 horas ou 28800 segundos, a potência correspondente sendo:

$$W = 0.8 \cdot 0.5 / 28800 = 1/72000 \text{ do quilogrâmetro}$$

"Nosso" coração valeria, pois

$$0,41/0,0000139 = 29520$$

portanto o trabalho do coração equivale ao de cerca de trinta mil cucos... o que mostra mais a micropotência de relógios que a "valentia" do coração. O relógio da Warren Telechron que comanda o "auto-starter" de motor de 40 HP do compressor da elevatória de Araxá é acionado por motorzinho elétrico de 4 watts.

Se admitirmos para o "nosso" motorzinho o baixo rendimento de 0,6 (sessenta por cento), teremos:

$$0,41 \cdot 0,736 / 0,60 \cdot 75 = 0,0067 \text{ KW (quilo-watt)}$$

seja

$$W = 6,7 \text{ watts}$$

Considerando que a lâmpada elétrica que me ilumina no momento é de 100 watts concluímos quão reduzida é a potência requerida para o acionamento do coração. Em termos de corrente contínua viria:

$$i = 6,7/6 = 1,1 \text{ ampères}$$

para 6 volts, perfeitamente realizável por potência de pilhas, que o paciente traria no peito.

Acentuemos mais uma vez a importância de ser "bem calculada" a potência "mecânica" do coração. De fato, "penso" que um dos mais sérios insucessos de De Bakey, quando da implantação do semi-coração objeto da fig. 7, ocasionado por um trombo que êle julgou sem importância (junto à sutura na aorta) e que por efeito de embolia provocou colapso cerebral fatal (muitos dias após), fôra devido talvez à potência exagerada do aparelho, que impulsionou o coágulo.

Os tratados que compulsámos são escassos em referência a potência do coração, quando não omissos. Poucas são as referências. Um médico descrevendo, em tom algo poético e místico, á extraordinária proeza de Barnard, aludiu a "35 joules". Como o joule é aproximadamente 1/10 do Kgm (realmente 1/9,8), a potência do "oxigenador" empregado pela equipe de Groote Schuur seria de 3,5 Kgm, seja 3,5/0,41, cerca de oito e meio vêzes a que acabamos de calcular (0,41 Kgm) e se nossos cálculos estão certos pensamos que a potência foi exagerada e, conseqüentemente, os fluxos decorrentes sujeitos a controles geradores de condições nocivas. Em hidráulica, nos problemas típicos de elevatórias, ninguém se aventuraria a adotar bombas de potência múltipla da rigorosamente calculada. Mesmo pondo de lado o aspecto econômico, o funcionamento seria irregularíssimo. Que se nos releve a insistência no assunto, que consideramos básico. Não há dúvida que a determinação da potência "exata" do coração médio humano é delicada e por vêzes incerta, como veremos.

ENERGIA EFETIVA (ÚTIL) e ENERGIA TOTAL (DESENVOLVIDA)

Da denominada por Landowne & Katz (Glasser (O) — vol. II, Medical Physics pág. 196) "energy utilized", a energia total desenvolvida, que poderíamos chamar "químio-termodinâmica", deriva a "energia efetiva", isto é, a que calculámos e que promove as forças impulsivas do sangue nos dois circuitos. A relação desta para aquela é "rendimento do coração" (efficiency). A efetiva ou "trabalho externo" do coração deverá cobrir além de outras desconhecidas, as seguintes atividades: a manutenção das células em repouso, contração e expansão musculares (criar e manter pressão de trabalho, acelerar jatos, manobrar válvulas, vencer a inércia da massa muscular e tecidos envolventes, escorar os recuos do coração e tecidos envolventes e compensar os respectivos atritos) e prover a energia degradada nas complexas químicas reações.

Face a tanta complexidade convencionou-se que o trabalho útil de um ventrículo é o "externo", é o eficaz e a que chamamos: "energia efetiva".

A energia total desenvolvida no coração tem origem nos processos físico-químicos inerentes às contrações musculares. Sem o Oxigênio (O₂) fornecido à massa muscular o coração não perdura. É assombroso o fato do coração ser BOMBA AUTÔNOMA, sem motor. Melhor dito, de motor oculto.

Ainda não estão bem definidas as substâncias metabolizadas e os produtos resultantes. Os citados autores acham que desempenham importante papel as glucoses, os lactatos, acetatos, piruvatos, etc., sôbre que, em processos oxidantes, fazem desprender gás carbônico (CO₂) e água, na proporção média de 2 Kgm de energia para cada cm³ de O₂. Aludem à utilização de 200 cm³ de O₂ em "dado período", deslocando-se, pois, 400 Kgm. O mais curioso, não sei por que, avaliam o trabalho efetivo em 30 Kgm, concluindo que o rendimento ("efficiency") seria de 30/400 = 0,075 ou 7%. Cremos que o "given period" seja o minuto, em que:

$$W = 0,41 \cdot 60 = 24,6 \text{ seja } 25 \text{ Kgm}$$

na crossa aórtica. No interior do coração poderia ser mais 20% e recairíamos nos 30 Kgm indicados. A formula em que Katz se baseou:

$$W = P_e \cdot V_e + \frac{m_e \cdot V_e^2}{2} + P_d \cdot V_d + \frac{m_d \cdot V_d^2}{2}$$

em que os índices e e d se referem a ventrículos esquerdo e direito respectivamente, P_e = pressão, V = volume, m = massa, identifica-se com a que empregamos para achar 0,41 para a potência utilizada, pois V sendo volume que é o pêso dividido por γ e m sendo os pêsos divididos por g, somando e englobando os termos semelhantes e dividindo pelo pêso (ref. a unidade de pêso) virá:

$$W = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

que, a menos das cotas, é a equação de Bernoulli.

Condição da mais alta relevância é que os ventrículos impulsionem "bombeando" a mesma vazão de sangue, seja que em tempos iguais recalquem volumes iguais, pois se um deles adiantar ou atrasar, a lei da "continuidade hidrodinâmica" não mais se verificaria e os desequilíbrios resultantes, nas áreas de maior resistência (capilares), acarretariam irregularidades no processo de difusão gasosa, etc. Como vimos no diagrama da fig. 2 as pressões são diferentes (1300 mm de água para o VE e 650 para o VD), porém as quantidades de sangue bombeado num mesmo período são rigorosamente iguais.

Numa espécie de recapitulação histórica vejamos alguns distúrbios "mecânicos" do órgão impulsionador e as respectivas "reparações", algumas verdadeiras "recauchutagens".

A fig. 3 apresenta o diagrama "de como se obstruem as coronárias". Vêm-se tipos vários de obstrutores, como abscessos expelindo células mortas, detritos, gorduras, cálcio, etc., abscessos contendo misturas de componentes de sangue deteriorado e, finalmente, os "coágulostrombos", responsáveis pelas oclusões como a que se observa na fig. ao lado em que o ramo coronário direito está perfeito e o esquerdo quase totalmente morto em razão de um trombo ("clot").

Continuo afirmando que me coloco na posição do engenheiro, às voltas tão sômente com o aspecto mecânico.

Na fig. 4 (diagrama "Time") vemos um tipo muito simples de semi-coração artificial, criação do genial Dr. De Bakey, do Hospital Metodista de Houston-Texas. Consta de cápsula esférica de diafragma equatorial pulsante. A esfera é semi-engastado no peito do paciente, como o mostra a fig. ao alto (bomba ventricular). Da face direita (de quem olha a fig.) por duas aberturas saem as duas artérias plásticas que penetram, a superior suturada num ramo aórtico e a inferior no "atrium esquerdo" recebendo o sangue vermelho das "veias" pulmonares. Ambas providas de válvulas junto às inserções na cápsula, a superior

esférica e a inferior plana. A face interna do diafragma está em contacto com o sangue oxigenado (vermelho) e a externa recebe os impulsos do ar comprimido oriundos dum

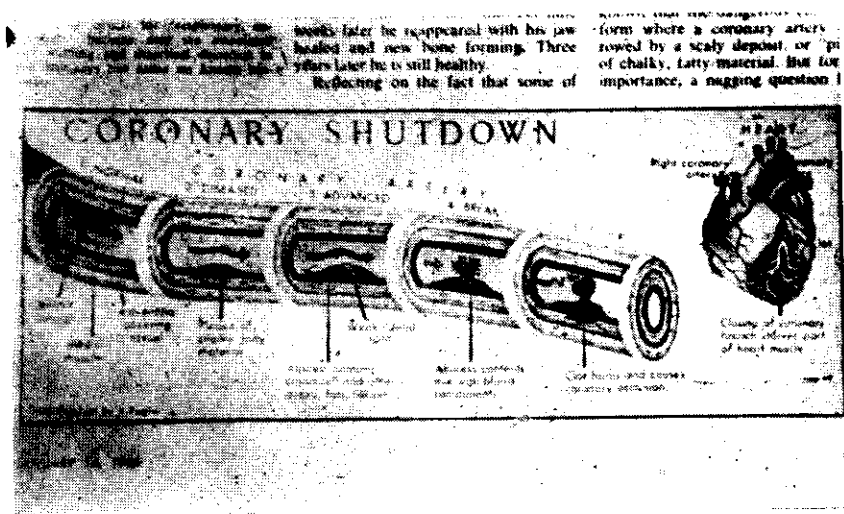


Fig. 3

micro-compressor convenientemente situado, comandado por pilha convencional, ou, como sugere o autor, o aproveitamento de um músculo (deltoideu ou clavicular), em determinada extensão e cuja retração por incitação elétrica provocaria a pulsação de pequeno “fole” que forneceria o ar comprimido para a cápsula. Lembramos que poderiam talvez ser utilizados pequenos compressores que seriam a adaptação dos comumente usados em aquários, com base na pulsação eletromagnética de micro-foles (como nas bombas de gasolina por diafragma, nos autos). O funcionamento é claro. O esquema é elucidativo. O feito foi realizado em março do ano findo (1967).

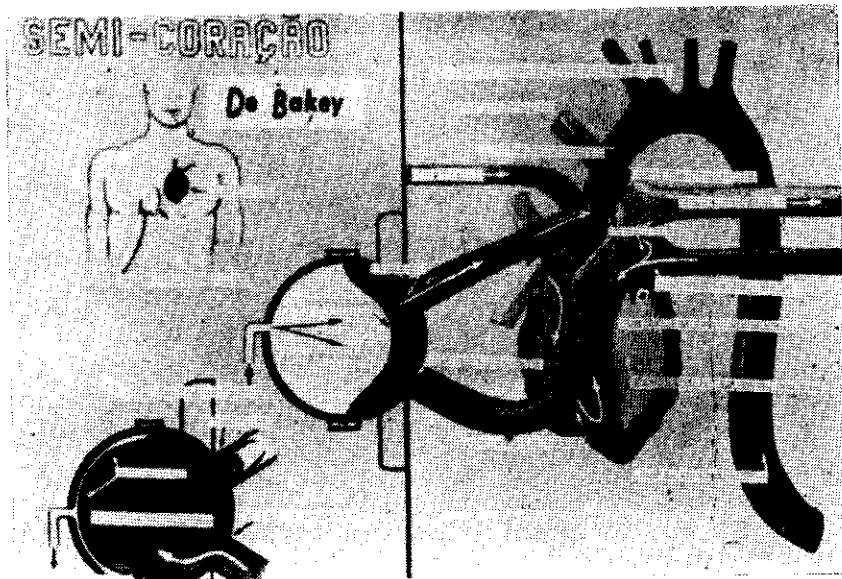


Fig 4

A fig. 5 mostra astuciosa e paciente intervenção do Dr. Raymond Heimbecker, do General Toronto Hospital (E. Unidos), isolando, empregando bomba oxigenadora, o coração de um diabético. Verificando o quase total apodrecimento dos dois ventrículos, substituiu o septo interventricular por placa de "teflon". As áreas mortas (5 x 7 cms.) foram retiradas e os bordos resultantes costurados. Certamente o volume ventricular diminuirá, o que seria compensado pelo ritmo mais acelerado, para equilíbrio da mesma potência anterior. A figura (baseada em diag. Time 24-03-67), é clara e dispensa comentários. Continuo

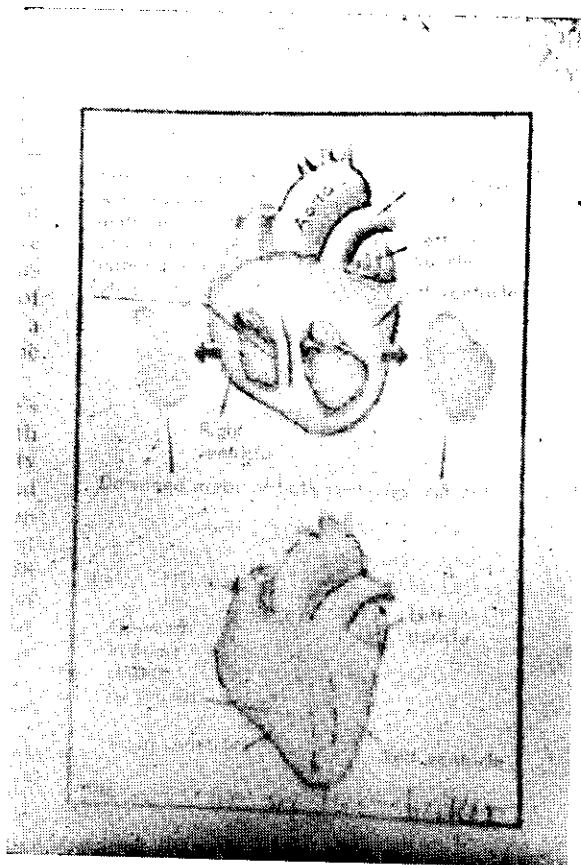


Fig. 5

afirmando aos médicos o que me diz respeito como engenheiro: a parte mecânica, tão somente. O "TEFLON", conquista da moderna química industrial (DUPONT), **absolutamente inincrustável**, se me afigura o material do futuro (para não dizer presente) do cirurgião cardíaco. Não foi aplicado nas paredes, por ser rígido (um de seus inconvenientes a se corrigir em breve) e vimos ser o coração "espécie" de bomba de paredes atuantes. Heimbecker mostrou inextinguível perícia.

A fig. 6 (diagrama Time) esquematiza interessante "mecânica" (êste sempre meu ponto de vista), façanha dos irmãos Kantrowitz.

Consta de um "ventrículo artificial" fazendo "by-pass" (porpassando, se me permitem o neologismo...) num ponto do ápice da crossa aórtica. Aparenta uma "salsicha" flexível encerrada em câmara rígida. Quando o ventrículo (esquerdo naturalmente) enche (válvula na entrada aórtica aberta), o impulso faz sangue encher o ventrículo auxiliar e, insuflado ar entre as paredes: interna flexível e externa rígida, a válvula aórtica fecha e o sangue é bombeado suavemente para o corpo. A figura é clara para mostrar o mecanismo pulsatório.

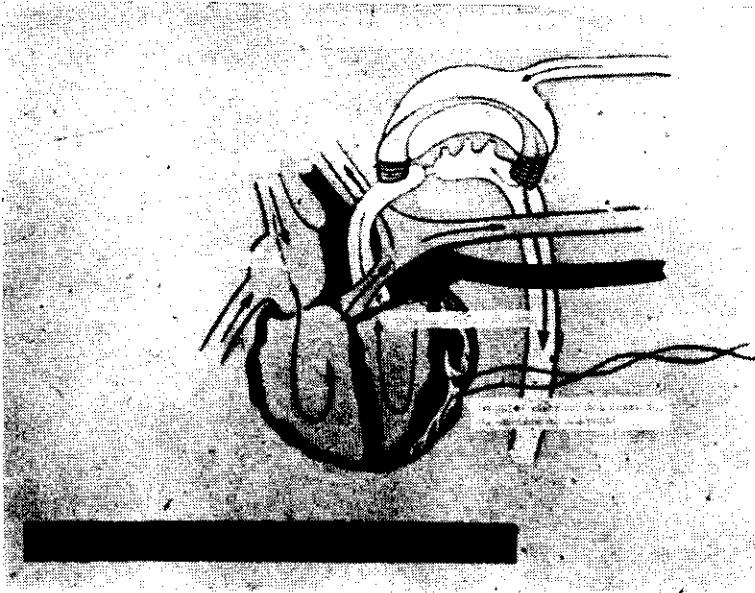


Fig. 6

Lamentamos que por motivos de ordem técnica, não foi possível reproduzir a fig. 7 (também Time), que evidencia audaciosa, genial e difícil “mecanicamente”, proeza do mesmo citado De Backey. Poupando o leitor direi que em última análise ele coloca “duas pernas insufláveis” por ar na cavidade ventricular única. No caso de imprestabilidade dos dois ventrículos, uma “bomba-pera-inflatória-pulsátil-interseptal única impulsiona. O mais, leitor “inteligente” deduz. A fig. 7 foi retirada, por não dar bom clichê.

Finalmente (para gáudio do leitor...) aqui vai a “prata nossa”, cujo “título” os especialistas poderão criticar. Consideremos que a tendência evolutiva das bombas modernas pende para o tipo “rotativo”, de rotores quer centrífugos, quer principalmente “axiais”. Nenhum “iniciante” em mecânica iria comparar o funcionamento de bomba “primitiva” de êmbolo ou diafragma, com seus golpes e contragolpes, ao de rotativa bem estabelecida, com a característica suavidade nos impulsos e maneabilidade no comando. Na evolução da série animal o motor pulsativo foi o primitivo, o de mais fácil alcance. Creemos que o “Homo Sapiens” do futuro terá seu coração rotatório. O bom senso leva a crer que o regime (?) pulsativo de sequentes trens de ondas somente complicações poderia acarretar no humano organismo, corroendo as paredes dos vasos, provocando o desprendimento de trombos, causando a formação de bolhas de gases em razão de bruscas quedas de pressão, etc. Ora, contanto que a pressão final nos micro-vasos sedes das difusões gasosas necessárias ao metabolismo, seja a mesma, já nesses extremos com efeito ondulatório quase nulo, que importa seja o órgão central propulsor pulsátil ou rotátil? Certamente, com o evoluir milenar, o organismo animal já se teria acomodado aos efeitos pulsatórios, que não poderia fisiologicamente dispensar... Verificado isto, seria o caso de indagar se a acomodação à rotação também seria viável ou praticamente impossível. Penso que não. Dois apenas são os inconvenientes que entrevejo. Primeiro, a constatação da morte pela ausência de “batidas”. Segundo, a decepção dos amantes...

Todavia, a meu ver, a maior dificuldade estaria na elevada rotação capaz, com rotor pequeno e único, de alcançar cerca de metro e meio de pressão arterial. Realmente, a fórmula que determina o alcance “teórico” (desprezadas as perdas inevitáveis) sendo

$$V = \sqrt{2gH}$$


(V = veloc. em metro/seg, H a altura alcançada e g = aceleração da gravidade) e como

$$V = \frac{\pi Dn}{60}$$

HEMODINÂMICA

CORAÇÃO
 SEMICORAÇÃO SOBRESSALENTE (SUBS)

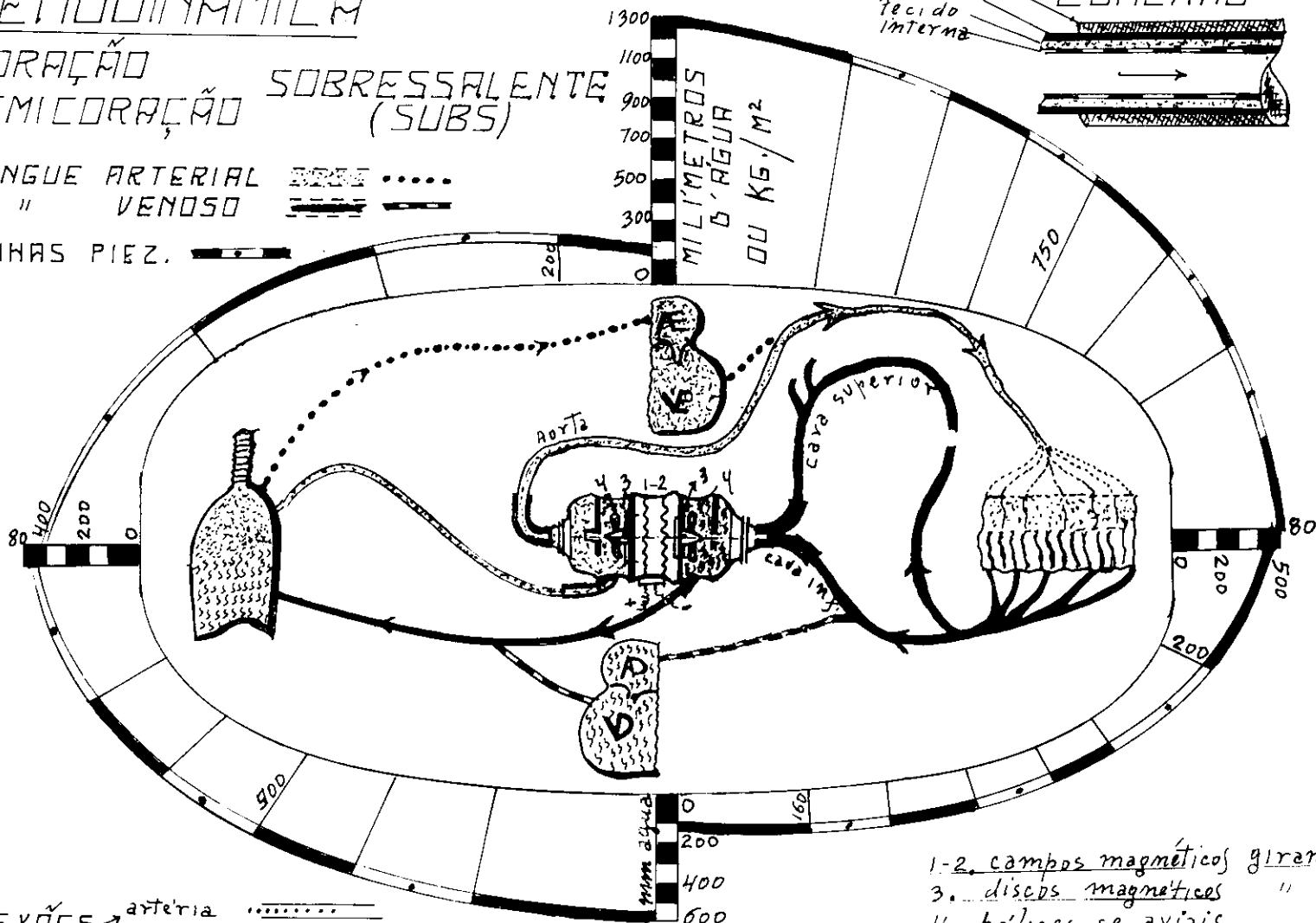
SANGUE ARTERIAL 
 " VENOSO  - - - -

LINHAS PIEZ.  - . - . - .

PLÁSTICO FLEXÍVEL

músculo tecido interna

CONEXÃO



CONEXÕES → arteria
 → veia - - - -
 superposição

- 1-2. campos magnéticos girantes
- 3. discos magnéticos "
- 4. hélices, se axiais
- " rodetes se centrífugos

B. Horiz. - 6-967
 F. Carvalho Lopez.

para rotor de diâmetro D rodando a n giros p/min, a fórmula seria:

$$n = \frac{60 \cdot \sqrt{2g}}{\pi \times D} \sqrt{H/K} = \frac{84,6}{D} \sqrt{H/K}$$

Repartida a altura total H (1,5 m em nosso caso da crossa aórtica) para K rodetes, o quadro abaixo sintetiza a questão; dando os n correspondentes:

N.º rodetes	D = 0,05 m	D = 0,08 m	D = 0,10 m
K = 1	2030	1290	1030
K = 2	1463	915	730
K = 3	1160	748	597
K = 4	1040	650	520

Mostra o quadro que com 4 rotores de um decímetro de diâmetro ainda teríamos velocidades da ordem de 500 rpm. Dois rotores de oito centímetros dariam cêrca de 900 rpm, mas êsses dois arranjos não seriam portáteis.

Dois rotores de 5 cm seriam viáveis e o coração artificial poderia ser intracorpóreo, pois não seria maior que um coração normal adulto. Todavia, coração-máquina é falível, depende de manutenção, inspeção...

Seria o caso de estudar a viabilidade de se trazerem os vasos para uma cavidade escavada semiengastada no peito do paciente, como o fez De Bakey (fig. 4) para uma semicoração. Assim o coração mecânico que proporemos: fig. 8, seria como que semi-engastado no peito do receptor.

Fácil seria provar que o rotor axial conduziria ao mesmo inconveniente de rotações elevadas.

Outra dificuldade está em que o problema do coração artificial recai no que poderíamos chamar, à maneira dos matemáticos, de **extremado hidromecânico**. Seria o caso de bombeamento de pequenas vazões a grandes alturas, ou vazões apreciáveis para pequenas alturas. A vazão dum coração normal, entre um quinto e um sexto de litro por segundo, leva-nos a micromáquina de rendimento precário, 0,5 ou menos, o que agrava o tamanho, aumenta os estágios, etc.

O problema elétrico é fácil, relativamente, mas o hidrodinâmico estaria a requerer a colaboração dos super-micro-mecânicos espaciais, que colocam micro-aparelhos no nariz das cápsulas espaciais, verdadeiras joias micro transistorizadas no célebre "circuito integrado". Teríamos em pouco tempo a solução do coração artificial.

Mas... o problema é eterno. Gastam-se bilhões na bomba atômica, nas guerras, nas falazes incursões planetárias e os mais mezinhos (?) problemas sociais, a fome, a falta de habitação, o cancer, as mazelas em geral respondendo com sorrisos de hiena...

O Homem quer destruir-se e terminará atingindo esta macabra meta.

Volvamos, porém, à prata de casa e passemos para idéia nossa do que seria um coração artificial, total ou semi-coração, não nos esquecendo de que, conforme o caso específico, êle passaria, em "buster", a auxiliar o órgão natural, em maior ou menor intensidade, conforme o decida o cirurgião.

FIG. 8. ESQUEMA DE ANTEPROJETO DE CORAÇÃO ARTIFICIAL ROTATIVO.

O que proponho é diferente das máquinas extracorpóreas em uso corrente, que não são portáteis pelo paciente mas fixas em laboratório e salas de cirurgia. Seria uma comple-

mentação do dispositivo da fig. 4, que é o semi-coração De Bakey, já descrito, porém de impulsão "rotativa". A figura se nos apresenta clara para quem tenha mediana noção "anátomo-mécano-hidráulica" do conjunto. Em nosso original a côr encarnada indica sangue arterial, oxigenado, e o azul o venoso. Como a fig. 8 é em preto-branco, pontilhamento e linhas descontínuas e linhas cheias indicam, respectivamente circulação arterial e venosa. Os semi-corações naturais têm conexões com linhas interrompidas e os artificiais em contínuas. Todos os dois circuitos, da grande e da pequena circulação, estão "envoltos" por diagramas ovoides representando as linhas piezométricas e de energia. Assim, o ventrículo esquerdo e a semi-bomba rotativa direita dão recalque de 1300 milímetros de coluna d'água (aprox. 100 mm de Hg), impulsionando o sangue arterial ao longo da aorta para os órgãos dependentes, regressando venoso que, pelas cavas, alimenta a aurícula direita ou a sucção da semi-bomba esquerda, que mediante o impulso de 600 mm d'água encaminha, pelas artérias pulmonares, êste venoso para os pulmões, onde re-oxidado, o fluxo fecha o circuito voltando pelas veias pulmonares para a aurícula esquerda ou sucção da semi-bomba direita. Como indicado também na fig. 2, as quedas piezométricas de 80 mm d'água (6 mm Hg) nas áreas extremas de transições: capilares-arteríolas-vênulas e epitelial pulmonar mantém, na fórmula já indicada:

$$Q = K (p_c - p_t)$$

o desnível piezométrico ($p_c - p_t$) que é a diferença entre as pressões inicial-capilar e a final do tecido, como o mostram os índices c e t. Houve quem estranhasse a fórmula da troca gasosa (volume Q p. minuto) não conter a área; é que êsse K já é tabelado, por Green, em volumes, de O_2 e CO_2 no jôgo metabólico.

Nota-se que o diagrama "de contôrno" da fig. 8 é o mesmo da fig. 2, êste desenvolvido numa seqüência plana vertical. Os desníveis nas linhas de energia são as "perdas de energia". Na fig. 2 indicamos duas linhas de energia que partem da vertical das crossa aórtica e vão aos órgãos. A primeira, mais levada, corresponde a organismo nôvo, dos jovens, artérias de paredes limpas, tubos lisos. A segunda, mais baixa, reflete "tubos de velhos, já esclerosados. O leitor deduzirá o resto, evidente para quem conhece Hidráulica elementar.

ERA ATÔMICA, ESPACIAL E DOS "TRANSPLANTES".

Vivemos inegavelmente época de grandes transformações e feitos científicos, nos domínios da Física Nuclear, das incursões espaciais e das "transplantações". A Química Industrial, a Bioquímica e a Cirurgia deram saltos gigantescos. Revistas e jornais informam síntese de tecidos vivos e sangue artificial. Pena que as conquistas sociais, para bem-estar da Humanidade, não tenham seguido senda paralela. Há miséria, fome, injustiça e o espectro da guerra.

Curioso é observar que nem sempre as grandes conquistas científicas decorrem dos centros mais avançados. O decifrador do neurônio, Ramon de Cajal fôra médico de aldeia, segundo lí. Presentemente, do extremo Sul Africano, do Hospital Groote Schuur da Cidade do Cabo, que não tem tradição de centro de pesquisas, nos vem a mais mirabolante façanha em matéria de transplante do mais importante órgão-motor do organismo humano. De qualquer bom centro cardiológico poderia vir o feito. Barnard não é melhor nem pior que qualquer bom cirurgião internacional, o Brasil incluso. Todavia o que mais nos faz admirar em Barnard foi a coragem, o atrevimento e sua firme autoridade como chefe de brilhante equipe. Soube esta haurir dos grandes centros euro-americanos os ensinamentos dos sábios mestres. Seu irmão mais moço, Marius, trabalhou na equipe De Bakey e um seu sobrinho, autor das rápidas análises orientadoras, especializou-se em notáveis centros bioquímicos.

Honrou-nos Barnard com sua atraente presença e seu máximo e pioneiro orgulho, o dentista Phillip Blaiberg, perambula pelas praias próximas à Cidade do Cabo, vivificado por forte coração mulato, num desafio ostensivo à política ultra-racial de sua pátria, ostentando vasta cicatriz a 45°, envolvente de tôda a frente de seu tórax, ante os olhares

surpresos de sua esposa, engulindo diariamente cerca de 30 comprimidos da mais complexa composição e submetendo-se a controles e muito feliz com a comunicação que as inspeções passarão de diárias a semanais. Há poucos dias apareceu no hospital guiando o próprio automóvel, tendo já participado de um jogo de "rugby", seu esporte favorito.

Já se conta com uma vintena de tentativas e 60% de sucessos, e nosso São Paulo já entrou na corrida, com pioneirismo na América Latina e mostrando ao Mundo aspectos novos em técnica digna dos países mais super-desenvolvidos. Com justa razão dedico a presente modesta contribuição à valorosa equipe do Dr. Zerbini.

E qual seria o rumo do futuro?

A técnica do transplante completo não se nos afigura a mais racional e prática. A concordância doador-receptor é assaz aleatória e nós sabemos quanto custa espera em hospitais...

Ademais os aspectos religioso, moral e jurídico que envolvem tão heróico ato terminam enfadando equipe já sobrecarregada por tanta responsabilidade e cansaço. O espectro da REJEIÇÃO (será), todavia, o óbice.

Longe estamos de um "banco de órgãos", com corações, fígados, rins, etc. conservados "vivos" e à disposição dos cirurgiões.

Poder-se-ia, entretanto, como observa o Dr. M. Collins (Turlock, Califórnia), ORGANIZAR UM BANCO INFORMATIVO, que, apoiado em perfeita estatística, porá as "disponibilidades de doadores convenientemente fichados" à disposição dos cirurgiões.

Diremos, finalmente, e é o que nos interessa em decorrência do campo mecânico do engenheiro, que perlustramos, que, ao lado das habilidades no campo cirúrgico, se estabeleça boa compreensão hidrodinâmica dos misteriosos e furtivos fenômenos escoatóricos que envolvem o funcionamento de órgãos animais.

Consequentemente, até que ponto o engenheiro hidrodinâmico poderia ser útil ao médico, eis o escopo de nosso tema agora tão oportunamente abordado nesta modesta contribuição hemodinâmica. Que os responsáveis pelos "currícula" das Faculdades de Medicina atentem bem para o caso.

Lutemos, pois, por boa compreensão, por um salutar entrosamento, enfim por verdadeira simbiose técnica entre médicos e engenheiros. Mesmo por que, segundo competente cardiologista mineiro, o estágio final de evolução paleontológica parece tender mais para mecânica.

Aperfeiçoemos, pois, os mecanismos "portáteis", que agirão parcial ou totalmente, como substituto integral ou como "buster".

O possível inconveniente da rotação axial não faria pior mal, pensamos, que os golpes pulsativos com suas súbitas oscilações ondulares da pressão e a dependência das complexas manobras de válvulas. Os impulsores "rotativos" **dispensam absolutamente válvulas** "durante o regime". São estas tão somente "reguladoras das mudanças de regimes", porém uma vez estabelecidos estes, as impulsões são suaves e contínuas. Repetimos período já dito atrás: "Ora, contanto que a pressão final nos micro-vasos sedes das difusões gasosas básica do metabolismo seja a mesma, já nesses extremos com efeito ondulatorio praticamente nulo, que importa seja o órgão central impulsionador "pulsátil ou rotatil"?

Aliás, rotativa é a ação no coração-pulmão extracorpóreo De Bakey de nossa Fac. de Medicina (B. Horizonte). Sômente ao invés dos convencionais rodetes, há um par esgrenado contornado por roldanas, em câmara de borracha semi-rígida. Assim, o atrito de fricção é substituído, com notória vantagem, pelo de rolamento nas paredes da carcassa.

Há exemplos frequentes de colaboração médico-engenheiro e mecânico. Sabido é que o heróico Ch. Lindbergh e Dr. Alexis Carrel colaboraram na tentativa de um "robot" — coração artificial.

Ainda há pouco o pedido de um médico a técnico aviatório (da General Dynamics Convair), para afiar tipo especial de agulha hipodérmica deu origem à concepção de uma classe de coração-pulmão das mais avançadas. O motor elétrico (provocador de explosões em ambiente "químico") foi substituído por pressão de água alternativamente controlada por registro adequado, que vai insuflar peras elásticas (bexigas) contidas em dois pares de câmaras gêmeas correlatas a átrios e ventrículos. Parece inspirado no aparelho descrito na fig. 7. Sòmente que neste a água é substituída pelo ar e o mecanismo é interno (dentro do corpo, no local do coração).

Para concluir direi

- 1 — que os médicos se tornem mais engenheiros e êstes um pouco mais médicos, nesse desconhecido campo de áreas entrosadas.
- 2 — Estamos na área dos transplantes e êstes são extraordinários, não só pelos resultados como pelo avanço que a técnica imprime à cirurgia cardíaca. Não devemos, todavia, **subestimar a corrida para os mecanismos que provocam "by-pass" ou "booster" de coração e pulmão**, isto é que ajam ao lado (em paralelo, "porpassando") ou intercaladamente (em série). "By-pass" e "booster", substantivo e verbo respectivamente, não têm correspondentes em português. São, porém, têrmos internacionais consagrados e que, como "futebol", poderíamos dizer: "baipasso e buster"...

Deixamos exatamente para o fim nossa referência ao PIONEIRISMO de São Paulo, e, mais que isto, do Brasil, na Am. Latina, no que tange à corrida para os transplantes, a cuja equipe executiva, na pessoa do ilustre Prof. Zerbini, dedicamos nossa modesta contribuição. Comparada porém, esta à vintena de pretentativas, reveste-se a mesma de características especiais que não podem ser desprezadas porque muito elevam e dignificam nossa cultura científica especializada. Nossos transplantes são inegavelmente mais "técnicos e objetivos" e a marcha da recuperação do implantado, comparada à de seus "colegas" o atesta. Do que um leigo (engenheiro) poderia depreender da leitura de jornais e revistas (as especializadas virão em breve), Doutor Zerbini dá relevante importância à preservação do chamado Neo-Sinusal. Realmente, junto à inserção cava-superior fica o chamado Nodo Sino-Atrial (as veias cavas se inserem tão proximamente que dão a impressão de vaso único). Mais abaixo, na base auricular direita está o Nodo Atrioventricular, certamente o Neo-sinusal (depressão: sinus). Em sue pese o aspecto muscular, trata-se realmente de um ramo nervoso, que dá dois ramos correspondentes aos dois ventrículos.

Comandam êles, á maneira de "relais-cerebral", o ritmo cordeal, sua função sendo, por isso justamente dita "Marca-passo ("pace-maker"). Ao superior se atribue comando de mais alta frequência (digamos 80) e é como o "regente da orquestra" e ao segundo, o sub-regente está afeta frequência pouco mais baixa. Já vimos que o sincronismo deve ser tal que o fluxo sanguíneo através dos órgãos não derroquem a lei da "continuidade" hidrodinâmica. Contrariamente, haveria desequilíbrios das pressões montante-jusante nas sedes das difusões de trocas gasosas, quer nos capilares (grande circuito) quer nos epitélios pulmonares (pequeno circuito) circulatórios. Doutor Zerbini dá a entender (mecanicamente, digo eu) que, falando sòmente no "Neo", recomendou ao Doutor Marques a incisão intermediária, certamente em busca de maior perímetro suturável e de contaco muscular.

Evidentemente a providência foi da maior importância e explica a normal recuperação do R. Caberia aquí ao "leigo" (engenheiro) a pergunta: êste "micro-ramo nervoso estaria "insulado" ou ligado a algum tronco. Donde proviria o "alto-comando", ou seria uma ação independente, de origem local? Não resta dúvida que a excitação é normalmente iniciada de impulsos oriundos do Nodo Sino-Atrial e se propaga rapidamente em todos os sentidos ao longo da musculatura atrial. Após micro-retardo no nodo Atrio-Ventricular (que causa defasagem ondular), a onda se vai propagando, pela ação do sistema Purkinge para a estrutura muscular atrio-ventricular. O sino-atrial (Keith-Flack) é um segmento neuro-muscular, que, isolado, por-seá a vibrar elevada frequência. O "alto-comando" a que me referí proviria de dois troncos nervosos: vagal e simpático (Pneumo gástrico), um excitando e outro moderando, porém esta auto regulação inlepende da vontade animal. A

conclusão (pelo menos do ponto de vista do engenheiro) é que, **caso haja efetivamente o seccionamento da inervação**, a vida do R. deverá ser precária e de duração relativamente curta. Em suma "o serviço hidráulico", de bombeiro, não há dúvida, é perfeito. Resta **indagar da continuidade** na parte "elétrica".

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- 1 — GLASSER (O) — Medical Physics — The Year Book Publishers-Chicago-3 Vols-1960
- 2 — RUSHMER (R) — Cardiovascular Dynamics (J. B. Saunders-Philadelphia-1964)
- 3 — WIGGERS (W) — Circulation Dynamics-Grune & Stratton-New York-1952
- 4 — ATTINGER (E. O.) — Hydrodynamics of Blood Flow-Academic Press-Ven-Te-Chow. N. Y. 1965
- 5 — LOPES (J. C.) — Fluidotécnica-Edições Arquitetura-Belo Horizonte-1966
- 6 — ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA: Vols. 11 e 19
- 7 — LAROUSSE XXe SIECLE-Vol. 2
- 8 — TIME-vários números de 1967-68.



O DR. SAMUEL MURGEL BRANCO, PROFESSOR HONORÁRIO DA "UNIVERSIDADE NACIONAL DO PERU"



O nosso prezado colaborador, prof. Samuel Murgel Branco, foi agraciado com o título de Professor Honorário da Universidade Nacional do Peru, a mais alta distinção concedida por uma universidade a um professor estrangeiro.

Biologista, diplomou-se em 1955 pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de S. Paulo, livre docente e professor titular da disciplina autônoma de Hidrobiologia da Faculdade de Higiene e Saúde Pública. Exerceu anteriormente o cargo de chefe da Hidrobiologia da Divisão de Tratamento do Departamento de Águas e Esgotos de S. Paulo, tendo publicado em nossa Revista inúmeros trabalhos referentes à especialidade.

Convidado pelo governo da República do Peru, esteve em 1967 em Lima, na qualidade de Consultor Internacional da Organização Mundial da Saúde, a fim de prestar assessoria científica a trabalhos de pesquisa programados pela Universidade daquele País, no setor da poluição das águas e tratamento biológico de esgotos. Em agosto deste ano, retornou a Lima, para ministrar curso sobre Hidrobiologia, fornecendo na ocasião à Universidade Nacional do Peru, os originais de um manual sobre a matéria, que será publicado ainda este ano, com o título "Hidrobiologia Aplicada a la Ingenieria Sanitaria".

Ao dr. Samuel Murgel Branco os cumprimentos da Revista DAE pela distinção que lhe foi outorgada pela entidade máxima da cultura peruana.