



小儿水电解质平衡 与液体疗法

杜 嗣 廉 主 编

人民卫生出版社

小儿水电解质平衡 与液体疗法

杜嗣廉 主编

杜嗣廉 谷仁凯 李思聪 阎靖中 编著
李 堂 石文斗 林荣军 李博琴

人 民 卫 生 出 版 社

(京)新登字081号

小儿水电解质平衡与液体疗法

杜嗣廉 主编

人民卫生出版社出版
(北京市崇文区天坛西里10号)

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米16开本 23印张 4插页 532千字
1993年5月第1版 1993年5月第1版第1次印刷
印数: 00 001—2 000

ISBN 7-117-01846-1/R·1847 定价: 23.20元

〔科技新书目288—231〕

前 言

水电解质平衡是儿科学最重要的基础理论之一，水电解质平衡和水电解质代谢紊乱是儿科工作者最常遇到的问题。

为给从事儿科临床、教学和儿童保健工作的同志及医学院校的同学提供一本系统全面而实用，理论性与实践性兼顾的参考书，我们编写了这本《小儿水电解质平衡与液体疗法》。编写过程中，参考了国内外有关资料，结合国内外专家和我们自己的临床经验，力求反映出这一领域的最新动态。

本书内容全面，对水电解质平衡和儿科水电解质代谢紊乱的基本理论进行了系统介绍，更侧重于临床应用。全书共十章。第一章为小儿水电解质代谢和水电解质平衡的基本理论，第二章介绍了体液渗透压及其调节，第三章对体液酸碱平衡理论进行了较详尽介绍，第四章讨论了液体疗法中常用的液体，第五章和第六章详细介绍了儿科水电解质代谢紊乱和酸碱平衡紊乱及其处理，第七章为儿科常见疾病的水电解质代谢紊乱及其纠正，第八章对小儿外科临床中的水电解质平衡和水电解质代谢紊乱进行了系统介绍，第九章为输液技术和输液并发症，第十章讨论了儿科临床中的全静脉营养问题。

如果本书能对从事儿科工作的同志有所帮助，我们将感到极大欣慰。

书中一定有许多不足和错误之处，请提出宝贵意见。

杜 嗣 康

于青岛医学院附属医院

1992年10月

目 录

第一章 小儿水电解质代谢与水电解质平衡	1
第一节 体液与体液平衡	1
一、体液的分布与构成	1
二、体液交换与体液平衡	2
第二节 小儿水代谢	8
一、水的生理功能	8
二、水的需要量与来源	9
三、水的排泄	13
四、水代谢的调节	16
第三节 小儿体液与体液平衡及水代谢的特点	18
第四节 小儿电解质代谢	19
一、钠	19
二、钾	23
三、氯	27
四、钙	27
五、磷	35
六、镁	38
第二章 体液渗透压及其调节	44
第一节 体液渗透压	44
一、渗透压的概念	44
二、血浆渗透压	45
三、渗透压的测量与计算	46
第二节 体液渗透压平衡的调节	47
一、神经系统的调节	47
二、内分泌的调节	48
三、肾的调节	50
第三章 体液酸碱平衡与血液气体分析	53
第一节 酸碱平衡的基本理论	53
一、酸和碱的概念及体液酸碱度	53
二、体液酸碱平衡的调节	55
第二节 酸碱平衡和血气分析常用指标及其临床意义	59
第三节 阴离子间隙及其临床意义	66
一、阴离子间隙的概念与计算	66
二、阴离子间隙的改变及其临床意义	67
第四节 酸碱平衡和血气分析结果的分析与判断	71
第四章 液体疗法常用液体及临床应用	74
第一节 电解质液	74

一、等张电解质液	74
二、高张电解质液	75
三、含钾溶液	75
四、碱性溶液	76
五、酸性溶液	78
六、其他电解质液	78
第二节 非电解质液	79
一、葡萄糖溶液	79
二、5%、10%果糖溶液和转化糖溶液	80
第三节 胶体溶液	80
一、全血及血浆	81
二、人血白蛋白	82
三、右旋糖酐溶液	82
四、其他代血浆	83
第四节 混合液体的配制	83
第五节 溶液浓度单位及其换算	86
一、摩尔和毫摩尔	86
二、克当量和毫克当量	89
三、毫渗量	92
第六节 口服补液盐	92
一、口服补液的理论基础	93
二、口服补液盐的配制和使用	93
三、口服补液的实施	95
四、口服补液应注意的问题	96
五、口服补液的禁忌症	96
第五章 水电解质平衡紊乱及其纠正	98
第一节 水代谢紊乱	98
一、脱水	98
二、水中毒	104
第二节 钠代谢紊乱	108
一、低钠血症	108
二、高钠血症	111
第三节 钾代谢紊乱	114
一、钾缺乏和低钾血症	114
二、高钾血症	117
第四节 氯代谢紊乱	120
一、低氯血症	120
二、高氯血症	122
第五节 钙代谢紊乱	123
一、低钙血症	123
二、高钙血症	130

第六节 磷代谢紊乱	134
一、低磷血症	134
二、高磷血症	137
第七节 镁代谢紊乱	139
一、低镁血症和镁缺乏	139
二、高镁血症和镁中毒	143
第八节 几种重要的微量元素代谢紊乱	144
一、锌	144
二、铜	153
三、铁	164
第六章 酸碱平衡紊乱	173
第一节 单纯型酸碱平衡紊乱	173
一、代谢性酸中毒	173
二、代谢性碱中毒	178
三、呼吸性酸中毒	182
四、呼吸性碱中毒	188
第二节 混合型酸碱平衡紊乱	195
一、有关概念和分类	195
二、代谢性酸中毒合并呼吸性酸中毒	197
三、代谢性碱中毒合并呼吸性碱中毒	200
四、混合型代谢性酸中毒	202
五、混合型呼吸性酸碱平衡紊乱	204
六、代谢性碱中毒合并呼吸性酸中毒	205
七、代谢性酸中毒合并呼吸性碱中毒	206
八、代谢性酸中毒合并代谢性碱中毒	208
九、三重酸碱平衡紊乱	210
第三节 乳酸酸中毒	213
一、乳酸的生成和代谢	213
二、乳酸酸中毒的原因与分类	214
三、乳酸酸中毒的诊断	218
四、乳酸酸中毒的治疗	219
第七章 儿科疾病的水电解质代谢紊乱和液体疗法	221
第一节 腹泻	221
一、腹泻的原因和发生机理	221
二、腹泻患儿的水电解质代谢紊乱	223
三、腹泻的液体疗法	224
第二节 呕吐	228
一、呕吐的原因	228
二、呕吐患儿的水电解质平衡紊乱	229
三、呕吐的液体疗法	229
第三节 感染性休克	230

一、感染性休克的水电解质平衡紊乱·····	230
二、感染性休克的液体疗法·····	232
三、感染性休克的其他治疗·····	234
第四节 急性肾功能衰竭·····	235
一、急性肾功能衰竭的水电解质平衡紊乱·····	235
二、急性肾功能衰竭的液体疗法·····	237
第五节 肝功能衰竭·····	240
一、肝功能衰竭的水电解质平衡紊乱·····	240
二、肝功能衰竭的液体疗法·····	243
第六节 心力衰竭·····	245
一、心力衰竭的水电解质平衡紊乱·····	245
二、心力衰竭的液体疗法·····	247
第七节 急性呼吸衰竭·····	249
一、急性呼吸衰竭的水电解质平衡紊乱·····	249
二、急性呼吸衰竭的液体疗法·····	250
三、急性呼吸衰竭的其他治疗·····	251
第八节 哮喘持续状态·····	252
一、哮喘持续状态的水电解质平衡紊乱·····	252
二、哮喘持续状态的液体疗法·····	252
三、哮喘持续状态的其他治疗·····	253
第九节 中枢神经系统疾病·····	254
一、脑性低钠血症·····	254
二、脑性高钠血症·····	255
三、颅内压增高·····	255
第十节 急性感染·····	258
一、急性感染的水电解质平衡紊乱·····	258
二、急性感染的液体疗法·····	258
第十一节 婴幼儿肺炎·····	259
一、婴幼儿肺炎的水电解质和酸碱平衡紊乱·····	259
二、婴幼儿肺炎的液体疗法·····	260
第十二节 新生儿疾病·····	260
一、新生儿水电解质代谢·····	260
二、新生儿水电解质代谢紊乱·····	266
三、新生儿液体疗法的特点·····	270
四、几种常见新生儿疾病的液体疗法·····	272
第十三节 内分泌和代谢疾病·····	275
一、糖尿病酮症酸中毒·····	275
二、急性肾上腺皮质功能减低·····	281
第十四节 营养不良·····	285
一、营养不良的水电解质平衡紊乱·····	285
二、营养不良患儿的液体疗法·····	286

第八章 小儿外科临床中的液体疗法	288
第一节 小儿外科输液的原则	288
一、外科疾病患儿水与电解质的正常需要量	288
二、外科患儿的额外损失量	289
三、累积损失量	290
第二节 外科疾病患儿的水电解质代谢特点	293
一、生长发育与修复的特点	293
二、第三体液间隙的隔离液体	293
三、创伤反应的特点	293
四、手术中及手术后水电解质需要量的变异	294
第三节 外科疾病患儿手术前后的液体疗法	295
一、术前输液	295
二、术中输液	296
三、术后输液	298
第四节 外科疾病患儿输液的实施	300
一、输液的原则	300
二、输液的程序	301
三、输液的速度	301
第五节 小儿烧伤的液体疗法	302
一、小儿烧伤的特点	302
二、烧伤的病理生理	303
三、烧伤的分类	304
四、烧伤面积的估计	305
五、烧伤的液体疗法	306
第九章 输液技术和输液并发症	309
第一节 输液技术	309
一、输液的目的	309
二、输液的途径	309
三、输液过程中应注意的问题	310
第二节 输液并发症	312
一、穿刺损伤	312
二、感染性并发症	312
三、发热反应	313
四、输液不当所致的并发症	313
五、其他并发症	314
第十章 全静脉营养	316
第一节 全静脉营养的概念与适应证	316
一、全静脉营养的概念	316
二、全静脉营养的适应证	316
第二节 静脉营养与小儿生长发育	319
第三节 全静脉营养液的成分和选择	320

一、全静脉营养的必需成分和需要量	320
二、全静脉营养的选择	324
第四节 全静脉营养的实施	331
一、静脉营养的管理	331
二、静脉营养的技术	331
三、静脉营养的终止	337
第五节 几种常见儿科疾病的全静脉营养	337
一、新生儿全静脉营养	337
二、肾功能衰竭	339
三、肝功能衰竭	340
第六节 全静脉营养的监测与并发症的预防和处理	342
一、全静脉营养的监测	342
二、全静脉营养并发症的预防和处理	343
三、良好的全静脉营养的准则	347
附录1 临床常用实验室检查正常值	349
附录2 mmHg与kPa换算表	354
附录3 cmH ₂ O与kPa换算表	356
附录4 pH5.0~8.9的nmol/L对照表	357
附录5 小儿体表面积计算	357
附录6 计量单位名称与符号表	357

第一章 小儿水电解质代谢与水电解质平衡

第一节 体液与体液平衡

人体内的液体是一种含有多种无机和有机电解质及少量非电解质的水溶液，称为体液。体液不仅是人体的重要组成部分，而且是机体生命活动所必需的。生物体内一切代谢和生化过程都需在体液中进行，氧和各种营养物质的转运、交换以及代谢产物的清除也有赖于体液。在神经、内分泌及许多器官的调节下，体液的数量、分布、构成和交换都是相对恒定的，构成了机体稳定的内环境。体液平衡是机体得以存活的最基本的条件之一。体液与体液平衡理论是临床工作者必须掌握的基本理论。

小儿体液和体液平衡有许多不同于成人的特点。本节中除介绍体液与体液平衡的基本理论之外，还将讨论小儿体液及其平衡方面的特点。

一、体液的分布与构成

(一) 体液量及其变异

体液总量与年龄、体内脂肪组织的多少及性别等许多因素有关。

1. 体液量的年龄变异 体液量与年龄有密切关系。年龄愈小，体液量相对愈多。这是因为年龄愈小，代谢愈旺盛，水的需要量和交换量亦愈大；另外，新生儿和小婴儿体内含水量较少的脂肪组织发育较差，致使体液量相对较多。小儿时期，特别是婴儿期，体重的增加与体液的蓄积有很大关系，如小婴儿每天体重增加25g，其中18g为水。足月新生儿体液总量占体重之78%~80%，极低体重儿可达80%~85%。随着年龄增长，体液量占体重之比例逐渐减少。1月龄时，体液为体重之75%，1岁末为70%，2岁末为65%，此后逐渐接近成人水平(55%~60%)。老年人体内含水量可减少到52%左右。各年龄组体液总量与体重的关系见表1-1。可见，随年龄增长，体液量相对减少的趋势是很明显的。

表1-1 不同年龄组体液量及其分布 (体重%)

年 龄	体 液 总 量	细胞内液	细 胞 外 液	
			间 质 液	血 浆
新生儿	80	35	40	5
1岁末	70	40	25	5
2~14岁	65	40	20	5
成 人	55~60	40~45	10~15	5

除可根据体液占体重的百分比计算不同年龄组小儿的体液量之外，体液量与体重的关系还可用以下公式表示：

$$\text{体液总量 (L)} = \text{体重 (kg)} \times 0.611 + 0.251$$

2. 体液量与体内脂肪组织量有关 虽然体液量与体重直接相关，临床上也常根据体重计算体液量，但由于机体内不同组织的含水量不同，当二个体重相同的小儿体内各种组织所占的比例不同时，其体液量也必然不同。因为体内各种组织比例影响体液量和体重的关系，所以仅根据体重计算体液量并不十分精确。人体内脂肪组织的数量变化最为明显，不同个体之间可有相当大的差异，而脂肪组织中含水量较少，因此，体内脂肪组织多的肥胖者单位体重中体液量较少，而脂肪组织少的消瘦者则体液相对较多。体内各种组织的含水量及其占总体液量的比例见表 1-2。由表中可见，不同组织的含水量可

表1-2 各种组织的含水量及占总体液量的百分比

组织或器官	含水量 (%)	总体液量 (%)
皮 肤	72.6	20.6
肌 肉	75.7	43.4
骨 骼	22.0	5.5
脑	74.8	2.3
肝	68.3	2.4
心	79.2	0.58
肺	79.0	0.86
肾	82.7	0.48
脾	78.5	0.21
血 液	83.0	6.47
肠	74.5	2.41
其他组织	63.0	14.9

以有较大差异。脂肪组织中的含水量在 15%~30% 之间，去除脂肪组织的机体组织含水量平均为73%左右。临床工作中必须考虑到不同组织含水量不同对体液的影响，否则可能造成液体治疗不当。例如，同样体重的肥胖小儿和营养不良小儿，因脱水而减少的体液量虽然相同，但肥胖儿童体液的丢失比例更大。图 1-1 为正常人、肥胖者和消瘦者体液量比较示意图，可见体内脂肪组织愈少，其体液所占比例亦愈大。

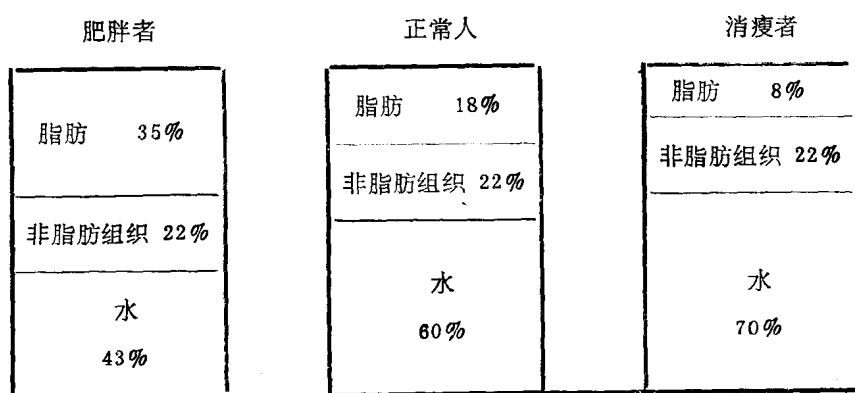
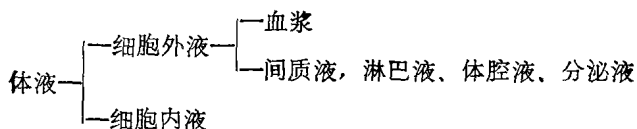


图 1-1 体内脂肪量对体液量的影响示意图

3. 体液量的性别差异 男性肌肉发达、脂肪组织一般较女性少，体液量常多于女性。按单位体重计算，成年男性体液量较女性多5%~10%或更多。

(二) 体液的分布

体液主要分布于细胞外和细胞内；细胞外液包括血浆、间质液（细胞间液）、淋巴液、各种分泌液、体腔液等



体液的分布也存在着年龄差异，各年龄组体液分布情况见表1-1。新生儿期，细胞外液量多于细胞内液量；随年龄的增长，细胞内液量迅速增加，9月龄~1岁时，二者比例接近成人。体液分布上的这种年龄差异主要是因为各种组织发育不平衡。新生儿和小婴儿细胞内含水较多的肌肉组织发育较差，而细胞内含水量较少、间质液较多的皮肤、结缔组织、软骨等发育相对较好。生长发育过程中，肌肉组织逐渐发达，各种组织细胞的数量/或体积增加，细胞内液也相应增加。

1. 细胞外液 细胞外液包括血浆、间质液(细胞间液)、淋巴液、各种分泌液如消化液、体腔液如脑脊液、胸腔、腹腔、关节腔、心包腔液、眼房水等。细胞外液保证了各种物质和气体以及代谢产物的交换与转运，并为细胞提供了一个稳定的环境。细胞外液量在临床上较为重要，进行液体疗法时常需计算细胞外液量。根据表 1-1 中所列举的不同年龄组小儿细胞外液量与体重的关系，可根据体重求得细胞外液量。另外，细胞外液量还可通过下列公式计算，而且可能较仅按照体重的百分比计算更为准确：

$$\text{细胞外液量 (L)} = \text{体重 (kg)} \times 0.239 + 0.325$$

如上所述，体液量受许多因素的影响，体液的分布亦因年龄而异，因而，仅根据体重计算细胞外液量也是不精确的。如按体表面积计算，细胞外液量则较为恒定，不论年龄大小，均为 6000ml/m² 左右。血浆量变化较小，约为体重之 5%，年龄差异不大。间质液数量较大，而且有相当大的可变性和伸缩性，在水代谢和体液平衡的调节中起重要作用，其作用有如一个水库，机体脱水时，间质液减少，体内有过多的液体潴留时，其数量增加，保持细胞内液和血浆的相对稳定。各种分泌液和体腔液约占体重之 1%~3%，通常情况下，对机体水代谢和体液平衡影响不大，但在某些病理状态下，可造成水电解质平衡紊乱。例如，胃肠减压、造瘘、肠梗阻时大量消化液丢失或积存于肠腔中，大量腹腔或胸腔积液等，可导致体液平衡的紊乱。

2. 细胞内液 细胞内液的数量、成分及各种理化性质均较为恒定，保证了细胞代谢活动的正常进行。细胞内液量与体重的关系亦较恒定，是体液中最稳定的一部分（表1-1）。不同组织细胞内含有的液体量不同，神经、肌肉、各内脏器官的细胞内含水较多，骨、软骨、脂肪、皮肤等组织细胞内含水量较少。

(三) 体液的构成

体液的主要成分是水 and 溶解于水中的无机和有机离子，即电解质；另外，还有少量的非电解质，如葡萄糖等。细胞内液和细胞外液的电解质构成差别很大，而血浆和间质液之间除蛋白质的含量不同外，其他电解质成分大致相同。无论哪一部分体液，其内部的阳离子和阴离子的总和总是相等的，保持电中性状态。某一种或几种阳离子浓度减低，势必同时有某一种或几种阴离子浓度的减低；同样，阴离子浓度的改变，亦必然有阳离

子浓度的相应改变。有关离子间的相互关系及其临床意义，以后各有关章节中将进行讨论。

各部分体液的离子构成、各种离子的浓度及其比较见表 1-3 和图 1-2。为更清楚地表明各种离子间的相互关系，表 1-3 和图 1-2 中仍以 mEq/L 为离子浓度单位。

表1-3 各部分体液的离子构成 (mEq/l)

体液	阳 离 子					阴 离 子						
	钠	钾	钙	镁	总和	氯	碳酸氢	磷酸	硫酸	有机酸	蛋白	总和
血 浆	142.0	5.0	5.0	2.0	154.0	103.0	27.0	2.0	1.0	5.0	16.0	154.0
血浆水	151.9	5.4	5.4	2.1	164.8	110.2	28.9	2.1	1.1	5.4	17.1	164.8
间质液	146.5	4.0	3.0	2.0	155.5	114.0	30.0	2.0	1.0	7.5	1.0	155.5
细胞内液	35.0	150.0	2.0	27.0	194.0	1.0	10.0	100.0	20.0	0	63.0	194.0

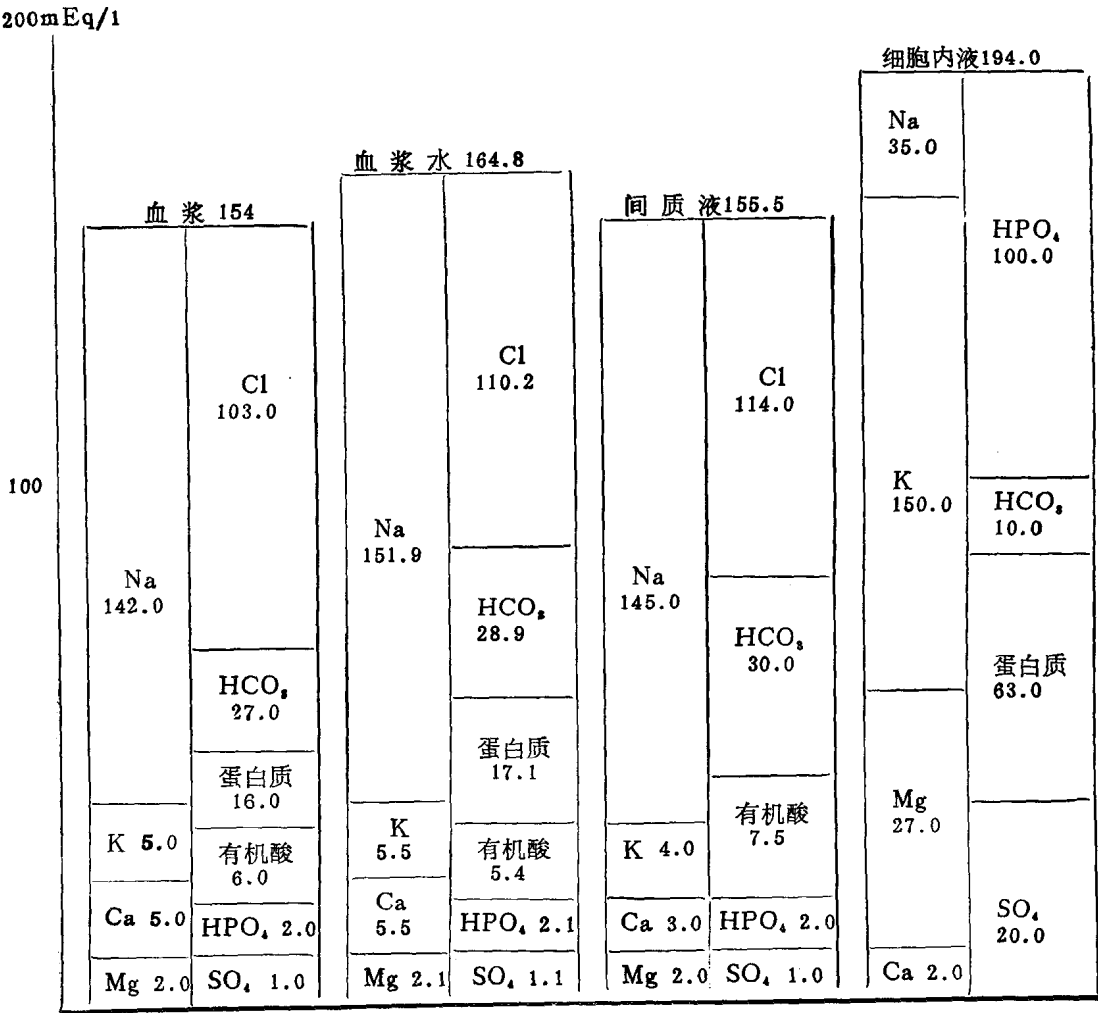


图 1-2 各部分体液离子构成的比较

1. 细胞外液

(1) 血浆：血浆中的主要阳离子是钠离子(Na^+)，浓度为 142.0mmol/L (142.0mEq/L)，占有所有阳离子的90%以上，对维持血浆渗透压和酸碱平衡及神经肌肉兴奋性等方面具有重要作用。钾离子(K^+)、钙离子(Ca^{2+})和镁离子(Mg^{2+})的浓度远较钠离子低，分别为 5.0mmol/L (5.0mEq/L)、 2.5mmol/L (5.0mEq/L)和 0.82mmol/L (2.0mEq/L)左右，但这些离子的生理功能，特别是在调节神经-肌肉兴奋性方面的作用是十分重要的。氯离子(Cl^-)是血浆中数量最多的阴离子，浓度为 103.0mmol/L (103.0mEq/L)左右。碳酸氢根离子(HCO_3^-)亦为血浆中重要阴离子，平均浓度为 27.0mmol/L (27.0mEq/L)，对体液的酸碱平衡有重要的调节和缓冲作用，构成了人体内最重要的缓冲系统。血浆中蛋白质约 60g/L (0.8mmol/L)，因为蛋白质不能自由通过毛细血管壁，故可维持血浆胶体渗透压，在体液交换和体液平衡中发挥重要作用。另外，血浆中还有有机酸离子(5.0mmol/L 左右)及少量的硫酸离子(SO_4^{2-})、磷酸离子(HPO_4^{2-})等。

(2) 血浆水：血浆中有较多的蛋白质，占有一定的体积，每 1000ml 血浆中蛋白质约占 60ml 。去除蛋白质后的血浆水中各种离子的浓度更能反映体内电解质的代谢状况，与间质液之间也更有可比性(间质液中蛋白质的含量极少)，见表1-3和图1-2。显然，血浆水中的电解质浓度高于血浆，其换算系数为1.06，即：

血浆水中某离子的浓度 = 该离子的血浆浓度 $\times$ 1.06

例如：

血浆水中钠离子的浓度 = $142.0\text{mmol/L} \times 1.06 = 150.5\text{mmol/L}$

血浆水中阳离子和阴离子的总和也是相等的，均为 164.8mEq/L 。

(3) 间质液：间质液是血浆通过毛细血管壁后的滤出液，而且与血浆不断交换，处于动态平衡状态。蛋白质分子不能自由通过毛细血管壁，因此间质液中蛋白质的浓度很低，为 $0.3\sim 3.5\text{g/L}$ ，仅约 0.05mmol/L ，有机酸阴离子浓度较高，其他离子浓度与血浆相似或接近。阳离子和阴离子的总和和各为 155.5mEq/L 。

2. 细胞内液 细胞内液的离子构成与细胞外液差别很大，最突出的差别是细胞内液中钾离子浓度高达 150mmol/L ，为细胞外液之30倍，体内总钾量的98%存在于细胞内。造成这种明显的离子浓度差别的主要原因是细胞膜上的钠-钾三磷酸腺苷酶($\text{Na}^+\cdot\text{K}^+$ ATP酶)对离子的转运作用。这种转运是一种主动的耗能过程，常被称为“离子泵”或“钠钾泵”作用。通过这种转运作用，不断地把因离子浓度差由细胞外进入细胞内的钠离子排出，同时将钾离子由细胞外转移至细胞内，以保持细胞内外液中各种离子相对稳定的动态平衡。由表1-3和图1-2可见，在细胞内液的阳离子中，除钾离子浓度显著高于细胞外液之外，镁离子浓度也较高，而钠离子浓度则明显低于细胞外液。细胞内液中阴离子的显著特点之一是氯离子浓度极低，仅约 1.0mmol/L 左右，某些组织的细胞内液中甚至缺乏氯离子；碳酸氢离子浓度亦较低。细胞内液的主要阴离子是磷酸阴离子，浓度达 50mmol/L (100mEq/L)，蛋白质含量和硫酸阴离子的浓度也较高。细胞内液中的阳离子和阴离子的总和和各为 194.0mEq/L ，高于细胞外液。这是因为细胞内液中多价离子较多，如磷酸阴离子、硫酸阴离子、镁离子等，故其渗透压仍与细胞外液相等，均为 300 毫渗量/公斤水($300\text{mOsm/kgH}_2\text{O}$)。

二、体液交换与体液平衡

体液的各部分之间不断地进行转移和交换,但又保持其稳定与平衡。体液交换与体液平衡是维持生命过程所必需的。通过体液交换,氧和各种维持生命活动和细胞功能的必需物质进入组织和细胞,代谢产物则不断被清除。另一方面,在交换和转移过程中,各部分体液的数量、构成又必须保持相对恒定,这也是生命活动不可缺少的条件。体液交换与体液平衡保证了代谢过程的正常进行,保证了机体内环境的稳定。

(一) 血浆和间质液之间的交换

血浆和间质液(细胞间液)之间由毛细血管壁分隔,这二部分体液间的交换主要通过毛细血管壁进行。毛细血管壁是一种类似于半透膜的结构,水、电解质离子和小分子非电解质分子如尿素、葡萄糖等可自由通过,而大分子物质如蛋白质则难以通过,仅有少量的小分子蛋白可透过毛细血管壁进入间质液。

血浆和间质液之间体液交换的方向和速度主要取决于以下4种力量:血浆静水压、血浆胶体渗透压、间质液静水压和间质液胶体渗透压。这4种力量中,血浆静水压和间质液胶体渗透压使血浆中的水和溶于水中的小分子物质和离子向间质移动,而血浆胶体渗透压和间质液静水压则使体液由间质向血浆移动。这二种使体液向不同方向移动的力量差即有效滤过压:

$$\text{有效滤过压} = (\text{血浆静水压} + \text{间质液胶体渗透压}) - (\text{血浆胶体渗透压} + \text{间质液静水压})$$

正常情况下,毛细血管动脉端血浆静水压为4.0kPa(30~32mmHg)左右,血浆胶体渗透压约为3.3kPa(25mmHg),间质液静水压为1.3kPa(10mmHg)左右,间质液胶体渗透压约2.0kPa(15mmHg),因此,毛细血管动脉端的有效滤过压为:

$$(4.0 + 2.0) - (3.3 + 1.3) = 1.4 \text{ kPa}$$

血浆中的水和钠、钾、氯、碳酸氢、钙、镁等大多数离子及小分子非电解质溶质如葡萄糖等进入间质液。在毛细血管静脉端,血浆静水压减低为1.3kPa(10mmHg)左右,有效滤过压亦减低:

$$(1.3 + 2.0) - (3.3 + 1.3) = -1.3 \text{ kPa}$$

体液由间质液进入血浆。

在机体许多因素的调节下,上述4种力量保持相对稳定和动态平衡,血浆和间质液之间的交换不间断地进行而又相对稳定。在这种交换过程中,一些物质进入间质液供细胞代谢所需,代谢产物则进入血液循环而被清除。图1-3为血浆和间质液通过毛细血管壁进行交换的示意图。毛细血管动脉端和静脉端的有效滤过压不同,决定了体液交换的速度和方向,影响有效滤过压的诸多因素中一项或几项发生改变,

将导致体液交换的紊乱。除有效滤过压外,毛细血管壁的功能状态影响其对水和溶于水中

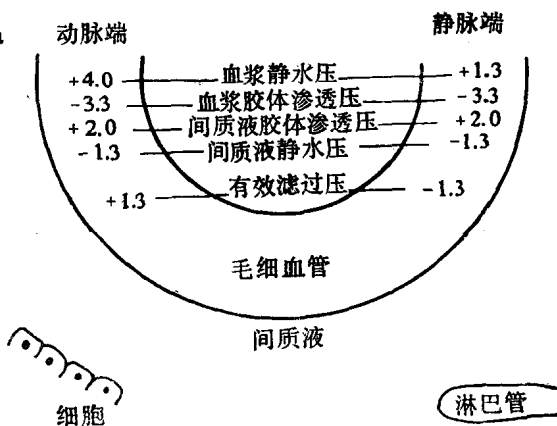


图 1-3 血浆和间质液交换示意图
(单位为kPa)

的各种物质的通透性,对血浆和间质液之间的交换有很大影响。例如,因缺氧、中毒等因素致使血管壁通透性增加,可有血浆外渗增多而造成组织水肿,这是严重缺氧时脑水肿的重要原因之一。

正常状态下,血浆和间质体液交换速度很快,每分钟约有 $\frac{3}{4}$ 的血浆容量被交换。成人24小时滤出和进入毛细血管的体液总量可达100000ml之多。这种快速而稳定的体液交换是维持机体正常代谢所必需的。

(二) 间质液和细胞内液之间的交换

间质液和细胞内液通过细胞膜进行交换。细胞膜亦具有半透膜功能。但是,如前所述,细胞内外液中的离子浓度存在着显著差别,显然,细胞膜除具有一般的通透和滤过作用外,还存在着对离子的主动转运功能。

细胞膜是一种液态镶嵌结构形式的生物膜,在液态双层脂质分子中镶嵌着蛋白质分子。它具有半透膜作用,允许水分子、某些离子如氯离子、碳酸氢根离子等,气体如氧、二氧化碳以及一些有机非电解质物质如葡萄糖、尿素等自由通过,而钠和钾离子则需通过耗能过程进行转运。细胞膜上有一种酶蛋白—— $\text{Na}^+-\text{K}^+\text{ATP}$ 酶。在有钠离子、钾离子和镁离子存在的情况下,这种酶可将三磷酸腺苷(ATP)分解为二磷酸腺苷(ADP)和磷酸并释放出能量,与此同时,酶蛋白的构象发生改变,将因浓度差由细胞外进入细胞内的钠离子排出细胞,并把钾离子转运到细胞内。通过这种不断进行的“离子泵”或“钠-钾泵”作用,对钠离子和钾离子进行主动转运,维持其细胞内外液中的浓度差。同时,其他离子如氯离子等也进行相应的转移和交换,保持细胞内外液间渗透压的平衡和各自的电中性状态。细胞内代谢过程中不断产生的离子,如磷酸阴离子、硫酸阴离子等,对保持细胞内离子构成的稳定也起一定作用。在离子交换的同时,水和其他物质亦在细胞内外液间进行交换。

(三) 体液交换的调节及其临床意义

体液的这种既不断交换又保持稳定的动态平衡是在许多因素的影响和调节下完成的。在诸多调节机制中,神经系统和内分泌调节最为重要。当体液的量和渗透压发生变化时,神经系统通过口渴中枢的兴奋或抑制,增加或减少饮水而调节体液量。抗利尿激素、醛固酮、皮质类固醇等激素对调节体液交换、维持体液平衡均有重要作用。肾、肺是调节体液平衡的重要器官。关于体液平衡的神经-内分泌调节机制将在本章第二、三、四节及第二章中进行详细介绍。

体液渗透压的稳定,特别是细胞外液渗透压的稳定对体液交换的平衡是非常重要的。体液渗透压及其调节也将在第二章中讨论。钠离子是血浆和细胞外液中最主要的阳离子,对维持血浆渗透压有重要作用,钠离子浓度的改变必然影响体液渗透压和体液的正常交换。血浆中钠离子浓度减低时,血浆和间质液渗透减低,水向细胞内转移,细胞内水肿,血容量减少;反之,如血浆钠离子浓度增高,细胞内液向血浆和间质液转移,细胞内脱水。血浆蛋白特别是白蛋白不易通过血管壁,形成血浆渗透压最稳定的部分——血浆胶体渗透压,对维持血容量、保证血浆和间质液间的正常交换和平衡具有重要作用。血浆蛋白特别是分子量较小的白蛋白减低时,血浆胶体渗透压减低,血浆液体大量外渗而回吸收减少,体液积聚于间质液,造成组织水肿而有效血容量减少。此种情况下必须补给蛋白制剂或血浆,提高胶体渗透压。如因血容量不足而补入大量晶体液,则可导致组织